

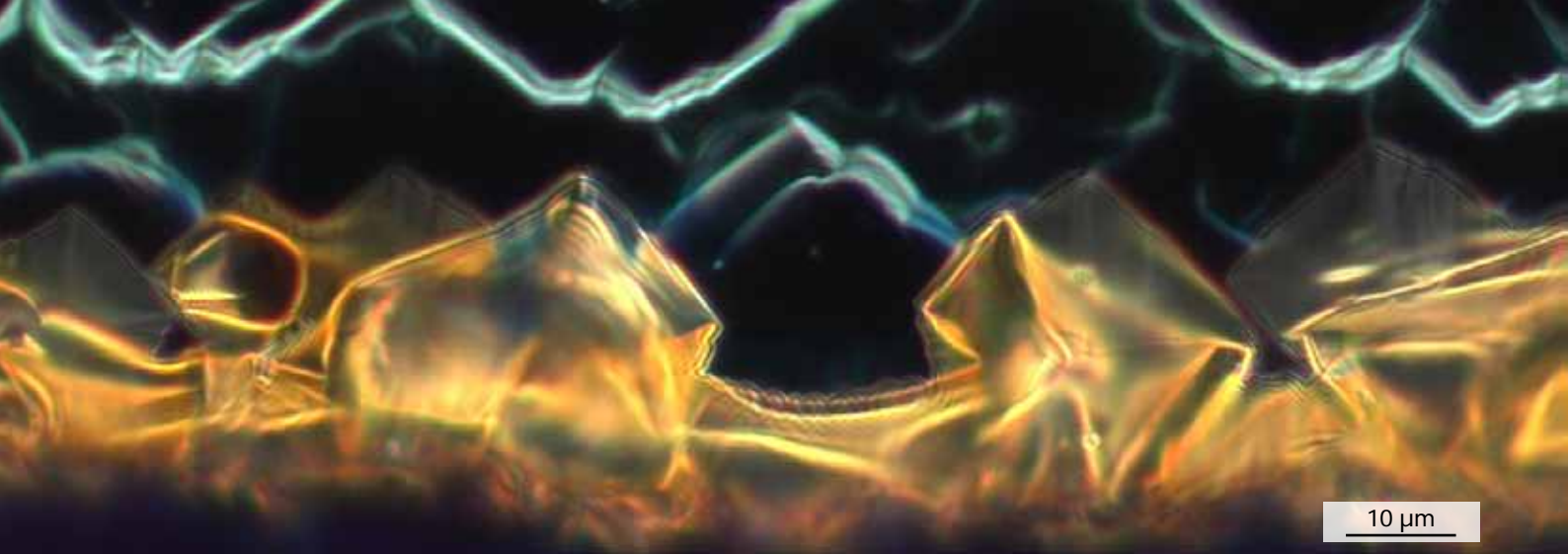


Fraunhofer
IMWS

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR
MIKROSTRUKTUR VON WERKSTOFFEN UND SYSTEMEN IMWS



JAHRESBERICHT
2015



10 µm

*Die Kenntnis der Mikrostruktur ist Voraussetzung, um das Verhalten von Werkstoffen zu verstehen.
Hier sind Übergangsbereiche an geätzten und mit Laser bearbeiteten Silizium-Wafern zu sehen.*

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

www.fraunhofer.de

VORWORT

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

erstmals halten Sie mit dem vorliegenden Dokument einen eigenen Jahresbericht für das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle in den Händen. Unsere Aktivitäten im Jahr 2015, die wir Ihnen auf den folgenden Seiten auszugsweise vorstellen möchten, erfolgten noch als Institutsteil Halle des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg. Seit 1. Januar 2016 sind wir als Institut eigenständig.

Dieser Schritt ist die Konsequenz einer sehr erfolgreichen, mit hohem Wachstum verbundenen Entwicklung in Freiburg und Halle in den vergangenen 20 Jahren. Beide Standorte haben damit eine kritische Masse erreicht, die nach unserem Erfolgsverständnis die Ausgliederung ökonomisch und organisatorisch vorteilhaft und – so unsere Prämisse – für Sie als unsere Geschäftspartner attraktiv macht. Ebenso wie unsere Kollegen in Freiburg werden wir Sie wie gewohnt als Forschungs- und Entwicklungspartner unterstützen und Ihre Produkte und Prozesse mit mikrostrukturbasierter Technologieentwicklung und Diagnostik für effiziente und zuverlässige Werkstoffe, Bauteile und Systeme bereichern. Unser Anspruch ist, dass sich die gewonnene Flexibilität und Schlagkraft an den beiden Standorten in stärkerer Kundenorientierung niederschlagen werden und Sie als unsere Geschäftspartner von der Neugliederung profitieren. In strategisch relevanten Themen, beispielsweise bei Langfaserthermoplasten, der Hochdurchsatzanalytik oder der Biotribologie, werden wir wie bisher komplementäre Kompetenzen mit den Kollegen zusammenbringen und attraktive Lösungsangebote für Sie entwickeln.

Wie scharf die Profile fachlich bereits abgegrenzt sind, zeigt auch dieser Jahresbericht: In Halle haben wir eigene Kernkompetenzen und eigene Netzwerke aufgebaut,



die während eines Strategieprozesses im Zuge der Ausgliederung noch einmal klarer profiliert wurden. Damit können wir künftig noch flexibler auf Marktveränderungen reagieren und den Fokus noch zielgerichteter auf Zukunftsthemen wie zuverlässige mikroelektronische Komponenten für das autonome Fahren, Vermeidung von Biokorrosion, Wasserstofftechnologien für die Energiewende oder thermoplastischen Leichtbau im Automobilbereich legen. Diese Konzentration auf spezifische Stärken, Forschungsbereiche und Marktsegmente wird die Basis für die dynamische Entwicklung des Fraunhofer IMWS bilden – und die Grundlage für eine weiterhin erfolgreiche Zusammenarbeit mit Ihnen als unsere Partner.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'R. Wehrspohn'. The signature is fluid and cursive.

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

INHALT

Institutsprofil

Mission des Fraunhofer IMWS	5	Lokalisierung von Schwachstellen in dünnen Isolationsschichten	28
Das Institut in Zahlen	6	Mikrostrukturelle Bewertung für die Automobilelektronik	30
Organisation Fraunhofer IMWS und Ansprechpartner ...	7	Bewertung von Halbleiterbauelementen mit Oberflächendefekten	31
Ausgewählte Forschungsergebnisse	8	Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP ...	32
Polymeranwendungen	8	Zuverlässige Solarmodule für jedes Klima	34
Entwicklung von biobasierten unidirektionalen Tapes	10	Defektfreie Halbzellen durch optimierte Laserprozesse ...	36
Röntgen-CT an thermoplastischen Faserverbundstrukturen	12	Simulationsbasierte Optimierung von Lötprozessen	37
Kautschukbasierte Komposite für Reifenanwendungen ..	14	Herstellung und Charakterisierung diamantdrahtgesägter Wafer	38
Leichtbaustrukturen aus faserverstärkten Thermoplasten...	15	Zuverlässige Technologien für gewölbte Solarmodule ...	39
Biologische und makromolekulare Materialien	16	Fraunhofer-Anwendungszentrum für Anorganische Leuchtstoffe	40
Nanofaser-Vliese für medizinische Anwendungen	18	Entwicklung von temperaturstabilen Leuchtstoffen für weiße LEDs	41
Antifouling-Beschichtung von Umkehrosiose-Membranen	20	Vernetzung des Fraunhofer IMWS	42
Mittelgesichtsimplantate mit nanostrukturierten Oberflächen	21	Technische Ausstattung	46
Mikrostrukturanalytik an infiltrierten Kariesläsionen	22	Personen, Ausbildung, Ereignisse, Veröffentlichungen	48
Ligninbasierte multifunktionale Naturstoffkomposite	23	Impressum	55
Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik	24		
microPREP™ – Laserbasierte Probenpräparationsplattform	26		

MISSION DES FRAUNHOFER IMWS

Unsere Mission: Mikrostrukturbasierte Technologieentwicklung und Diagnostik für effiziente und zuverlässige Werkstoffe, Bauteile und Systeme

Die zentrale Herausforderung der Menschheit im 21. Jahrhundert ist die Nachhaltigkeit aller Lebensbereiche, insbesondere der effiziente Umgang mit begrenzten Rohstoffen. Das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS betreibt angewandte Forschung im Bereich der Materialeffizienz und ist Impulsgeber, Innovator und Problemlöser für die Industrie und für öffentliche Auftraggeber in den Bereichen Zuverlässigkeit, Sicherheit, Lebensdauer und Funktionalität von Werkstoffen in Bauteilen und Systemen. Die Kernkompetenzen liegen im Bereich der Charakterisierung von Werkstoffen bis auf die atomare Skala sowie in der Materialentwicklung.

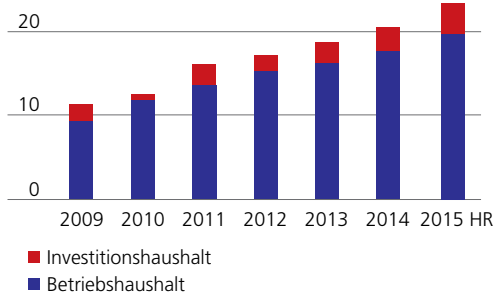


Beispiele unserer Kernkompetenzen »Mikrostrukturdesign« und »Mikrostrukturdiagnostik«: auf der Nanoskala optimierte Komposite für geringeren Rollwiderstand von Reifen (oben), mit Seltenen Erden dotierte Spezialgläser (hier unter Anregung mit UV-Licht) (Mitte). Unsere Fähigkeiten in der Geräteentwicklung zeigt beispielsweise das Gerät microPREP™, mit dem sich ultradünne Proben für die Nanoanalytik schneller und zuverlässiger herstellen lassen (unten).

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

Haushalt

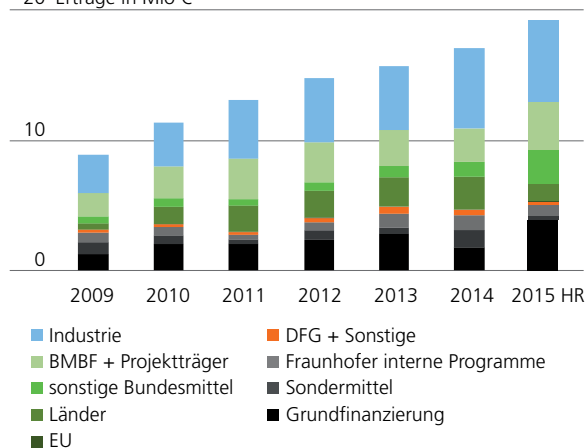
30 Haushalt in Mio €



1 Entwicklung des Betriebshaushalts des Fraunhofer IMWS.

Der Haushalt des Fraunhofer IMWS setzt sich zusammen aus einem Betriebshaushalt und einem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt des Fraunhofer IMWS ist weiter gewachsen und beläuft sich auf 19,9 Millionen Euro (Hochrechnung HR von November 2015). Im Betriebshaushalt sind alle Personal- und Sachaufwendungen enthalten. Er wird finanziert durch

20 Erträge in Mio €



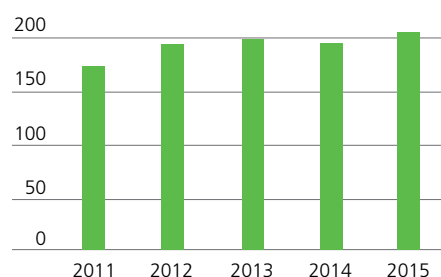
2 Entwicklung der Erträge des Fraunhofer IMWS.

externe Erträge aus Industrie und öffentlicher Hand und durch institutionelle Förderung (Grundfinanzierung). Der Anteil der Industrieerträge am Betriebshaushalt 2015 liegt bei 31,2 Prozent. Der Investitionshaushalt 2015 beträgt 3,6 Millionen Euro.

Personalentwicklung

Ende 2015 sind am Fraunhofer IMWS insgesamt 204 Personen als Stammpersonal beschäftigt. Die Beschäftigtenzahl setzt sich zusammen aus 25 Wissenschaftlerinnen und 68 Wissenschaftlern, 81 technischen Beschäftigten, 25 Angestellten in der Infrastruktur und 5 Auszubildenden. Inklusive der 59 wissenschaftlichen Hilfskräfte sowie Praktikantinnen und Praktikanten waren Ende 2015 insgesamt 284 Personen am Fraunhofer IMWS beschäftigt.

250 Beschäftigtenzahl



3 Stammpersonalentwicklung des Fraunhofer IMWS.

Stand: Nov. 2015

ORGANISATION FRAUNHOFER IMWS UND ANSPRECHPARTNER

Institutsleiter Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn	Stellvertretender Institutsleiter Prof. Dr. Matthias Petzold
--	---

GEMEINSAM MIT ANDEREN
ORGANISATIONEN BETRIEBENE
FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN

<p>Polymeranwendungen</p> <p>Prof. Dr. Peter Michel Prof. Dr. Mario Beiner (wiss. Leiter)</p>	<p>Biologische und makro- molekulare Materialien</p> <p>Prof. Dr. Andreas Heilmann</p>	<p>Komponenten der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik</p> <p>Prof. Dr. Matthias Petzold</p>	<p>Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP</p> <p>Prof. Dr. Jörg Bagdahn Dr. Peter Dold*</p>	<p>Fraunhofer-Pilotanlagenzen- trum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ Prof. Dr. Michael Bartke**</p>
<p>Faserverbundstrukturen</p> <p>Dr. Ralf Schlimper</p>	<p>Technologien für Biofunktionale Oberflächen</p> <p>Prof. Dr. Andreas Heilmann</p>	<p>Bewertung elektronischer Systemintegration</p> <p>Sandy Klengel</p>	<p>Abteilung Zuverlässigkeit und Technologie für die Netzparität</p> <p>Prof. Dr. Jörg Bagdahn</p>	<p>Abteilung Polymerverarbeitung</p> <p>Prof. Dr. Peter Michel</p>
<p>Polymerbasiertes Materialdesign</p> <p>Prof. Dr. Mario Beiner</p>	<p>Charakterisierung med. u. kosmet. Pflegeprodukte</p> <p>Dr. Andreas Kiesow</p>	<p>Nanomaterialien und Nanoanalytik</p> <p>Prof. Dr. Thomas Höche</p>	<p>Diagnostik Solarzellen</p> <p>Dr. Christian Hagendorf</p>	<p>Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge</p> <p>Ivonne Jahn</p>
	<p>Bewertung von Materialien der Medizintechnik</p> <p>Dr. Andreas Kiesow (komm.)</p>	<p>Diagnostik Halbleiter- technologien</p> <p>Frank Altmann</p>	<p>Zuverlässigkeit von Solar- modulen und Systemen</p> <p>Dr. Matthias Ebert</p>	<p>Hochleistungs- thermoplaste</p> <p>Dr. Matthias Zscheyge</p>
	<p>Naturstoffkomposite</p> <p>Andreas Kromholz</p>	<p>Anwendungszentrum Anorganische Leuchtstoffe</p> <p>Prof. Dr. Stefan Schweizer</p>	<p>Siliziumwafer</p> <p>Prof. Dr. Stephan Schönfelder</p>	<p>Abteilung Polymersynthese</p> <p>Dr. Ulrich Wendler**</p>
			<p>Modultechnologie</p> <p>Prof. Dr. Jens Schneider</p>	<p>* Fraunhofer ISE ** Fraunhofer IAP</p>
			<p>Abteilung Labor für Kristallisationstechnologie</p> <p>Prof. Dr. Peter Dold*</p>	

<p>Infrastruktur</p> <p>Thomas Merkel</p>	<p>Projekte & Finanzen</p> <p>Helga Steinhäuser</p>	<p>Technische Dienste und IT</p> <p>Sebastian Gerling</p>	<p>Personal & Dienstreisen</p> <p>Constanze Pälecke</p>
<p>Wissenschaftsmanagement</p> <p>Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn</p>	<p>Büro Institutsleitung</p> <p>Heike Gehritz</p>	<p>Öffentlichkeitsarbeit</p> <p>Clemens Homann</p>	<p>Forschungsstrategie und Geschäftsentwicklung</p> <p>Andreas Dockhorn</p>

Gruppen



Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge

Die Gruppe entwickelt anwendungsspezifische kurz-, lang- und endlosfaserverstärkte Thermoplastverbunde sowie prototypische Halbzeuge. Besondere Berücksichtigung finden die Verarbeitungseinflüsse auf die resultierenden Materialeigenschaften. Die Umsetzung prozesstechnischer Aufgabenstellungen erfolgt vom Labor- bis in den Pilotmaßstab.

Ivonne Jahn | ivonne.jahn@imws.fraunhofer.de



Faserverbundstrukturen

In der Gruppe steht die Bewertung des Einsatzes von polymerbasierten Faserverbundwerkstoffen in hochbelasteten Leichtbaustrukturen im Fokus. Zur Charakterisierung des mechanischen Verhaltens sowohl unter einsatz- als auch prozessbedingten Belastungen wenden wir speziell angepasste experimentelle und numerische Methoden an.

Dr. Ralf Schlimper | ralf.schlimper@imws.fraunhofer.de



Polymerbasiertes Materialdesign

Die Gruppe arbeitet an Fragestellungen im Bereich Kautschuk und Nanopartikel-Komposite sowie der Optimierung von thermoplastischen Matrices. Die Materialforschungsaktivitäten widmen sich dabei der gezielten Einstellung von Verstärkung, Dissipation, Kristallisationszustand und Matrix-Füller-Wechselwirkung.

Prof. Dr. Mario Beiner | mario.beiner@imws.fraunhofer.de



Hochleistungsthermoplaste

Der Schwerpunkt der Gruppe liegt in der Bauteil- und Technologieentwicklung für thermoplastische Leichtbaustrukturen auf Basis von endlosfaserverstärkten Halbzeugen. Die Entwicklung startet bei der virtuellen Prozess- und Strukturauslegung und vollzieht sich bis zur prototypischen Bauteilfertigung.

Dr. Matthias Zscheck | matthias.zscheck@imws.fraunhofer.de

» Das Leichtbaupotenzial von Faserverbundkunststoffen haben viele Industriekunden erkannt. Unser Ziel ist es nachzuweisen, dass sich faserverstärkte Kunststoffe auch in Großserie kosteneffizient fertigen lassen. Mit unseren Anlagen im Pilotmaßstab bieten wir dafür ideale Möglichkeiten.«



GESCHÄFTSFELDLEITER

Prof. Dr. Peter Michel | Telefon +49 345 5589-203 | peter.michel@imws.fraunhofer.de

Fokus

Das Geschäftsfeld Polymeranwendungen ist Material- und Prozess-Spezialist für faserverstärkte Hochleistungsthermoplaste und innovative Kautschuk-Komposite für den Einsatz in Großserien. Unter dem Motto »das richtige Material in die richtige Anwendung« beschäftigen wir uns mit Fragestellungen von der Auswahl der Rohstoffe über die Verarbeitungstechnologie, die daraus resultierende Verarbeitungs-Struktur- und Struktur-Eigenschaftsbeziehung bis hin zu den angestrebten Bauteileigenschaften. Die betrachteten Materialgruppen werden in einem skalenübergreifenden Ansatz untersucht und charakterisiert. Wir bedienen Kunden im Umfeld der Mobilitätsanwendungen Automobil, Flugzeug und Schienenfahrzeug und bieten die komplette Entwicklungskette vom Materialdesign bis zum geprüften prototypischen Bauteil in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Pilotanlagenzentrum (PAZ) in Schkopau an.

Bemerkenswertes aus 2015

Das Jahr 2015 war geprägt durch die Umstrukturierung des Geschäftsfeldes, das sich seit Mai in einer neuen Gruppenstruktur präsentiert. Neben der bereits etablierten Gruppe Polymerbasiertes Materialdesign setzt sich das Geschäftsfeld aus den drei neu gebildeten Gruppen Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge, Hochleistungsthermoplaste und der Gruppe Faserverbundstrukturen zusammen.

In Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten IAP, IME und ISC starteten wir das marktorientierte strategische Vorlaufforschungsprojekt BISOYKA, die sich mit der Optimierung und Entwicklung synthetischen Kautschuks befasst. Das Material soll ein Eigenschaftsprofil bekommen, das sich dem des Naturkautschuks annähert. Außerdem haben wir die ersten Projekte im neuen Themenschwerpunkt thermoplastische Komposite begonnen. In engem Kundenkontakt wurden zahlreiche Bauteilabmusterungen auf den Großmaschinen im Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und Polymerverarbeitung PAZ vorgenommen. Zudem konnten wir mit BioFrame ein weiteres Projekt im Rahmen des Spitzenclusters BioEconomy gewinnen.

Mit einem feierlichen Festakt würdigten wir gemeinsam mit der Bundesministerin für Bildung und Forschung, Prof. Dr. Johanna Wanka, und dem Ministerpräsidenten des Landes Sachsen-Anhalt, Dr. Reiner Haseloff, das 10-jährige Bestehen des Fraunhofer PAZ in Schkopau.

ENTWICKLUNG VON BIOBASIERTEN UNIDIREKTIONALEN TAPES

Gruppe

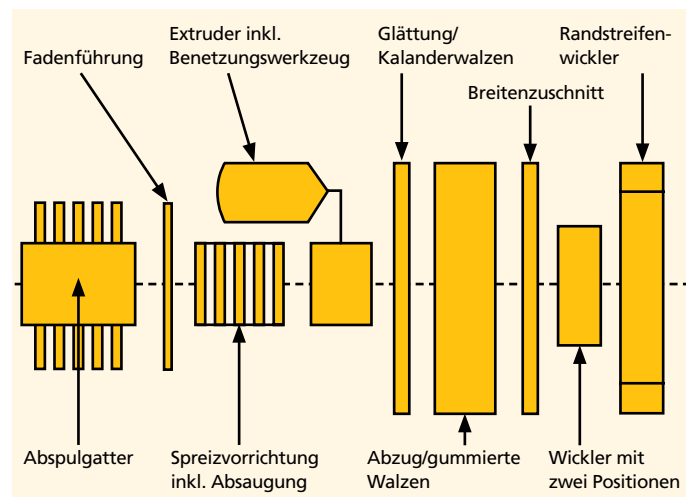
Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge

Ivonne Jahn | Telefon +49 345 5589-474 | ivonne.jahn@imws.fraunhofer.de

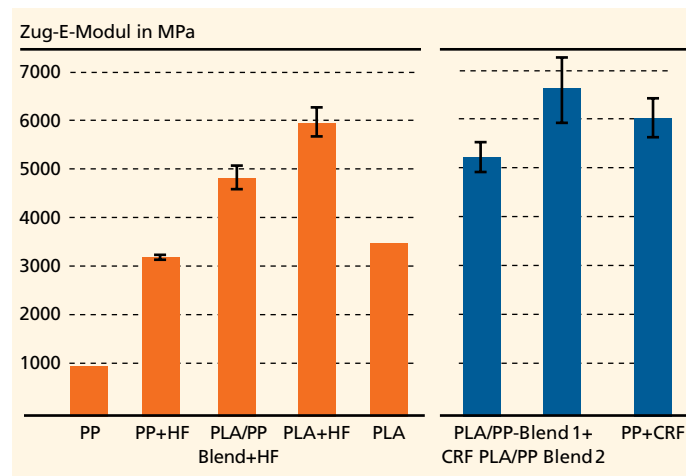
Durch gesetzliche Vorgaben muss der Schadstoffausstoß aus dem Autoverkehr bis zum Jahr 2020 deutlich gesenkt werden. Die Industrie ist deshalb auf der Suche nach kreativen Lösungen, etwa für Gewichtseinsparungen. Ein wichtiger Trend dabei: Metallische Werkstoffe werden durch Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) ersetzt. Diese weisen durch ihre hohe Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitig geringer Dichte ein hohes Leichtbaupotenzial auf. Weitere positive Charakteristika sind ihr erhebliches Energieaufnahmevermögen, ihre guten Dämpfungseigenschaften sowie ihre Korrosions- und Witterungsbeständigkeit. Als Materialklasse mit dem größten Potenzial sind hierbei endlosfaserverstärkte Thermoplast-Systeme anzusehen, deren Faserorientierung direkt an den Lastverlauf im Einsatzfall angepasst werden kann. Die Entwicklung nachhaltiger und leistungsfähiger Materialkonzepte ist eine entscheidende Voraussetzung, um wirtschaftliche Verfahren und Anwendungen in zukünftigen Schlüsseltechnologiebereichen wie der Elektromobilität umsetzen zu können.

Werkstoffe und Verfahren

Die nachhaltige und leistungsfähige Materialbasis für die biobasierten Verbundwerkstoffe mit unidirektional ausgerichteten Fasern bilden Cellulose regeneratfasern als Verstärkungsfasern und Polymilchsäuren als Polymermatrix. Ein Überblick zur Verfahrenstechnik ist in Abbildung 1 zu sehen. Hierbei werden Faserrovings mittels Direktimpregnierung zu einem UD-Tape verarbeitet. Die Fasern werden durch eine statische und dynamische Spreizeinrichtung so abgelegt, dass sie gleichmäßig in das Werkzeug einlaufen können, wo die Benetzung erfolgt. Ein Wellenprofil ermöglicht die Imprägnierung der Fasern, wodurch sich Druckgradienten innerhalb der Rovings ausbil-



1 Herstellungsverfahren für unidirektional verstärkte Verbundwerkstoffe.



2 Charakterisierung der Polymilchsäure-Blend-Eigenschaften (links Holz-Polymerwerkstoff mit 30 % Buchenholzfaser, rechts BioUD-Laminat mit 25 % Cellulose regeneratfasern).



Bio-UD-Tape aus einem Polymilchsäure (PLA)-Blend und Celluloseregeneratfasern (CRF).

den und somit die Schmelze zwischen die Fasern eingebracht werden kann. Das verwendete Werkzeug ermöglicht eine im Industriemaßstab einzigartige Wirtschaftlichkeit, da die Tapes bis zu einer Breite von 500 mm mit einer Produktionsgeschwindigkeit von bis zu 20 m/min hergestellt werden können. Die Weiterverarbeitung erfolgt über die Konsolidierung zu lastgerecht ausgelegten Bio-Laminaten, die zum Beispiel als Verstärkungselemente in Leichtbaustrukturen Anwendung finden. Spritzgussbauteile können durch diese Verstärkungen höhere Belastungen aufnehmen. Derzeit wird beispielsweise an biobasierten Lösungen für spezielle Baugruppen gearbeitet, die künftig im Interieur von Autos eingesetzt werden könnten. Am Fraunhofer IMWS werden innovative Verfahren, Werkzeuge und Materialkombinationen entwickelt sowie Spritzgusswerkzeuge optimiert und angepasst, um das Potenzial für Leichtbau und damit den Klimaschutz durch biobasierte Verbundwerkstoffe zu heben. Die Entwicklungen setzen beginnend mit der Materialentwicklung im Labormaßstab ein und werden schrittweise in den Pilotmaßstab übertragen.

Charakterisierung von Bio-Laminaten

Gegenwärtig wird materialseitig an der Entwicklung eines Polymilchsäure-Blends gearbeitet. Hier gilt es, die komplexen Wechselwirkungen, die sich zwischen den Grenzflächen des Blends und der Celluloseregeneratfaser ausbilden, aufzuklären und aufeinander abzustimmen. Das Modellsystem hierfür sind Holz-Polymer-Werkstoff-Formulierungen, zu denen eine umfangreiche Wissensbasis vorliegt. In Abbildung 2 links sind die Ergebnisse aus Zugversuchen der neuen Blendsysteme vergleichend mit herkömmlichen Holz-Polymer-Werkstoffen dargestellt. Es zeigt sich kein signifikanter Einfluss des gekop-

pelten PLA/PP Blends auf das E-Modul. Weiterhin ordnen sich alle Werte im Bereich des Erwartungswertes der einfachen Mischungsregel an.

Neben der Analyse und dem Design neuer Materialien ist auch die Weiterentwicklung der Verarbeitungstechnologie nötig. Herkömmliche Systeme zum Erzeugen unidirektionaler Verbundwerkstoffe sind für die Verarbeitung von Standardkunststoffen, wie Polypropylen, und Standardfasern, zum Beispiel auf Basis von Glas, ausgelegt. Mit den ersten Entwicklungen konnte die technologische Verarbeitung von biobasierten unidirektionalen Tapes realisiert werden. Abbildung 2 (rechts) zeigt auf Basis des Standes der aktuellen Materialentwicklung die mechanischen Kennwerte in Faserrichtung. Es ist ein deutlicher Effekt des Kopplers im PLA/PP Blend 2 zu erkennen, und für die lineare Mischungsregel liegen alle Verbundsysteme über den zu erwartenden Werten.

Dr. Andre Rappthel, Stephan Lehmann

RÖNTGEN-CT AN THERMOPLASTISCHEN FASERVERBUNDSTRUKTUREN

Gruppe

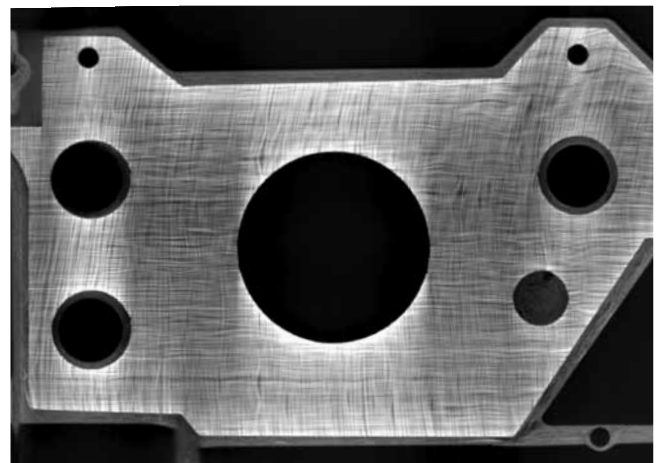
Faserverbundstrukturen

Dr. Ralf Schlimper | Telefon +49 345 5589-263 | ralf.schlimper@imws.fraunhofer.de

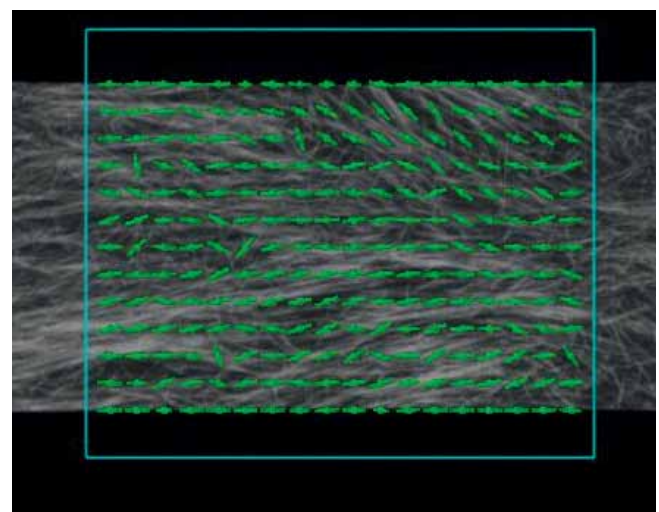
Leichtbau in Fahrzeugstrukturen wird durch Klimaschutzbestimmungen und Ressourcenknappheit immer bedeutender. Metallische Werkstoffe werden in Automobilkomponenten zunehmend durch faserverstärkte Kunststoffe (FVK) ersetzt. In aktuellen FuE-Projekten geht es darum, deren Einsatzgebiet auf mechanisch hochbelastete, tragende Bauteilstrukturen zu erweitern. Insbesondere thermoplastische Faserverbundwerkstoffe mit Endlosfaserverstärkung gewinnen aufgrund ihrer schnellen Verarbeitbarkeit sowie ihrer hohen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte an Bedeutung. Die Verstärkungsfasern werden in Form vorimprägnierter und vorkonsolidierter Halbzeuge mit unidirektionaler Faserausrichtung (UD-Tapes) in das Bauteil eingearbeitet und der mechanischen Beanspruchung optimal angepasst. Mit dieser lastgerechten Auslegung wird das Leichtbaupotenzial des Werkstoffs bestmöglich ausgenutzt. Dies führt jedoch dazu, dass bereits bei geringen Abweichungen von der vorgegebenen Orientierung der Verstärkungsfasern eine Verminderung der mechanischen Performance auftritt.

Röntgen-Computertomographie

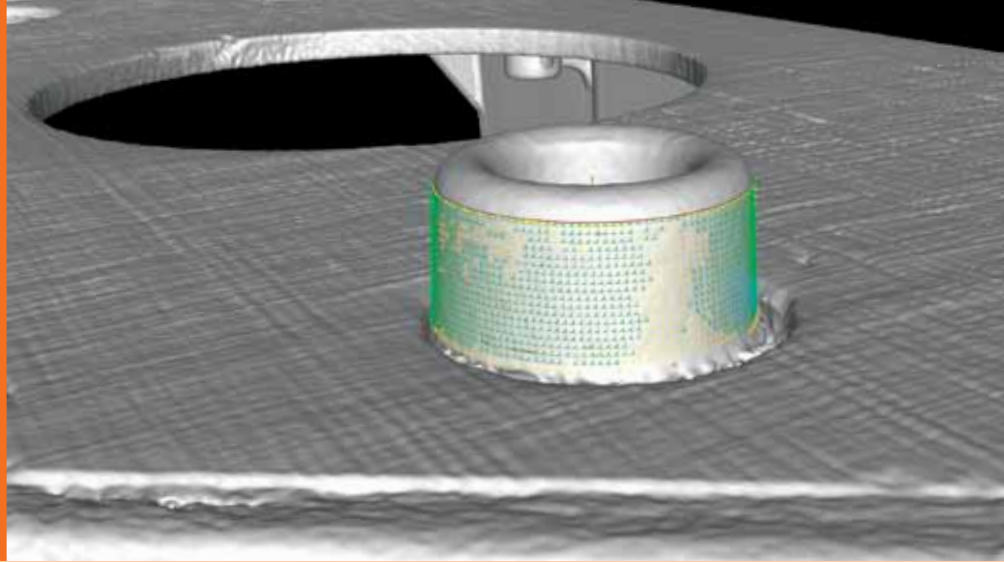
Mittels Röntgen-Computertomographie, bei der die innere Struktur eines Materials dreidimensional und zerstörungsfrei abgebildet und anschließend analysiert werden kann, lassen sich sowohl der Faserverlauf als auch weitere fertigungsbedingte Fehlstellen in den Bauteilen identifizieren. Mit der Anlage RayScan 200E können auf diese Weise Objekte mit der Größe eines Pkw-Frontendträgers gescannt werden (Bild Seite 71 links). Der Frontendträger im Auto fungiert als Aufnahme für Scheinwerfer, Kühler, Haubenschloss und gegebenenfalls Sensorik (zum Beispiel Abstandssensoren). Damit



1 UD-Tape-verstärktes ($90^{\circ}/0^{\circ}$) Bauteil.



2 Vektorielle Darstellung der Faserorientierung eines UD-Tape-verstärkten Bauteils.



Röntgen-CT-Anlage RayScan 200E mit UD-Tape-verstärktem (schwarz eingefärbt) Frontendträger (links). Geometrische Vermessung eines Anschraubdoms (Durchmesser 11 mm, rechts).

er im Betrieb den Steifigkeits- und Festigkeitsanforderungen gerecht wird, sind unter anderem die Einhaltung der vorgegebenen Faserorientierung, die weitgehende Porenfreiheit des spritzgegossenen Bauteils sowie dessen geometrische Maßhaltigkeit und Verzugsfreiheit entscheidend. Anhand von Röntgen-CT-Aufnahmen der am Fraunhofer-Pilotanlagencentrum für Polymersynthese und Polymerverarbeitung PAZ hergestellten Technologie-Demonstratoren wurden diese Parameter sowohl qualitativ als auch quantitativ untersucht, um entwicklungsbegleitend Rückschlüsse auf die optimalen Fertigungsparameter gewinnen zu können.

Analyse eines UD-Tape-verstärkten Frontend-Trägers

Abbildung 1 zeigt einen Querschnitt durch den 3D-Bilddatensatz eines Ausschnitts des Frontendträgers (roter Bereich im Bild oben, links). Dabei handelt es sich um einen Bereich des Bauteils aus Langglasfaser-verstärktem Thermoplast (LFT), der durch vorkonfektionierte Lamine aus mehreren UD-Tape-Einzellagen verstärkt ist. Zur Bewertung der Qualitätsmerkmale wurde zunächst die Geometrie des Bauteils anhand des 3D-Bilddatensatzes vermessen. Mithilfe von idealisierten, geometrischen Körpern, die an die 3D-Bilddaten angefügt wurden, konnte die Einhaltung der Soll-Geometrie, wie zum Beispiel der Formtoleranzen, überprüft werden. Das Bild oben rechts zeigt die geometrische Vermessung eines Anschraubdoms.

Erheblichen Einfluss auf die mechanische Performance des Bauteils hat die Ausrichtung der Verstärkungsfasern. Durch Schnittbilder lassen sich die Ausrichtungen der UD-Tape-Einzellagen (hier im 0°/90°-Laminataufbau) lagenweise analysieren. Außerdem konnten abhängig von den Fertigungs-

parametern bei der Herstellung der UD-Tapes Faserwelligkeiten in der Lagenebene festgestellt werden. In den LFT-Bereichen des Bauteils stellt sich abhängig von der Bauteilgeometrie und den Fertigungsparametern im Spritzgussprozess eine lokale Faserorientierungsverteilung ein. Mittels 3D-Bildanalyse konnten die Langfaserbündel in einem Bildausschnitt eines LFT-Bereichs segmentiert und deren Orientierungen in Bezug auf ein vorgegebenes Bauteil-Koordinatensystem automatisiert vermessen werden. Abbildung 2 zeigt die im Bildausschnitt ermittelten Faserorientierungen in einer anschaulichen, vektoriellen Darstellung. Auf diese Weise konnte die sich einstellende Faserorientierungsverteilung mit den Fertigungsparametern korreliert werden, um insbesondere an geometrisch komplexen Stellen durch eine Optimierung der Prozessparameter eine optimale Faserverteilung zu gewährleisten. Für die weiterführende Analyse des strukturellen mechanischen Verhaltens des Bauteils lassen sich die ermittelten lokalen Faserorientierungen in Finite-Elemente Programmen weiterverarbeiten.

Durch den Einsatz von Röntgen-CT in Verbindung mit 3D-Bildanalyse lassen sich demnach die komplexen Korrelationen zwischen den Prozessbedingungen bei der Verarbeitung von faserverstärkten Kunststoffen und der resultierenden Mikrostruktur des Werkstoffs einerseits sowie zwischen der Mikrostruktur und dem daraus resultierenden Werkstoffverhalten andererseits effektiv untersuchen. Dies führt insbesondere bei der Entwicklung neuer FVK-Fertigungstechnologien zu einer signifikanten Effizienzsteigerung und trägt zu einem verbesserten Verständnis des Werkstoffverhaltens bei.

Thomas Wagner

KAUTSCHUKBASIERTE KOMPOSITE FÜR REIFENANWENDUNGEN

Gruppe

Polymerbasiertes Materialdesign

Prof. Dr. Mario Beiner | Telefon +49 345 5589-247 | mario.beiner@imws.fraunhofer.de

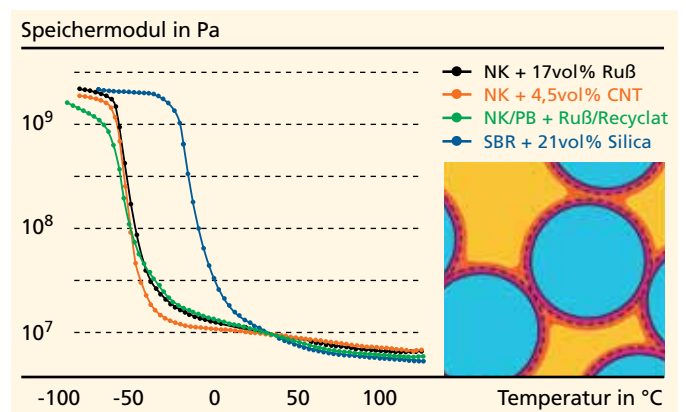
Kautschukbasierte Komposite, wie sie für Reifenlaufflächen eingesetzt werden, sind komplexe Materialien, die neben dem während der Reifenherstellung vernetzten Kautschuk viele Zuschlagstoffe und Additive enthalten. Während die Kautschukkomponente dem Material gummitypische Eigenschaften wie die reversible Verformbarkeit verleiht, ermöglicht es die Zugabe von nanoskaligen Füllstoffen wie Ruß oder Silica, andere mechanische Eigenschaften wie Härte, Modul oder Abriebfestigkeit zu beeinflussen. Diese Kenngrößen können über Füllstoffart und -anteil eingestellt werden. In Kompositen für Reifen ist der Füllstoffanteil so hoch, dass sich ein durchgehendes »Füllstoffnetzwerk« ausbildet, das die mechanischen Eigenschaften dominiert. Detailliertes Verständnis und gezielte Anpassung dieses Füllstoffnetzwerks sind deshalb von zentraler Bedeutung für die Entwicklung optimierter Komposite für Reifen und wichtiger Forschungsgegenstand am Fraunhofer IMWS.

Wege zur Optimierung des Füllstoffnetzwerks

Vergleichende Untersuchungen mittels dynamisch-mechanischer Analysemethoden an einer Vielzahl von etablierten und neuartigen kautschukbasierten Kompositen zeigen, dass das Füllstoffnetzwerk nicht nur die aggregierten Füllstoffpartikel selbst, sondern auch viskoelastische Elemente enthält, die von immobilisierten, glasartigen Kautschuksegmenten an der Oberfläche der Füllerpartikel gebildet werden (Schema in Abbildung 1). Obwohl die immobilisierte Fraktion der Kautschukmatrix sehr klein ist und wohl nur 1-3 Volumenprozent des gesamten Kautschuks im Komposit ausmacht, ist ihr Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften dramatisch, da sich glasige Kautschukbrücken zwischen den Füllerpartikeln bilden. Wenn der glasige Kautschukanteil sukzessive erweicht

(zum Beispiel durch Temperaturerhöhung), kann sich der Modul des gesamten Kompositmaterials halbieren (Abbildung 1). Die enormen Auswirkungen der glasigen Kautschukbrücken auf die Festigkeit belegen deren Bedeutung für die anwendungsbezogene Optimierung von Kompositmaterialien. Die Eigenschaften der glasigen Kautschukbrücken hängen naturgemäß stark von Füllstoff-Matrix-Wechselwirkung ab und können basierend auf nicht-linearen Schermessungen quantifiziert werden. Derartige Aussagen helfen bei der anwendungsgerechten Auswahl von Kompositkomponenten und der Bewertung des Potenzials neuer Grundstoffe. Die Modifizierung des Füllstoffnetzwerks ist auch ein vielversprechender Weg zur Minimierung des Rollwiderstands und damit von Kraftstoffverbrauch und Emissionen.

Dr. Anas Mujtaba



1 Speichermodul $G'(T)$ für vier Komposite mit ähnlicher Verstärkung bei ca. 30°C, aber unterschiedlichem Erweichungsverhalten (links). Schema eines Füllstoffnetzwerks mit glasigen Kautschukbrücken (rechts).

LEICHTBAUSTRUKTUREN AUS FASERVERSTÄRKTEN THERMOPLASTEN

Gruppe
Hochleistungsthermoelaste

Dr. Matthias Zscheuge | Telefon +49 345 5589-475 | matthias.zscheuge@imws.fraunhofer.de

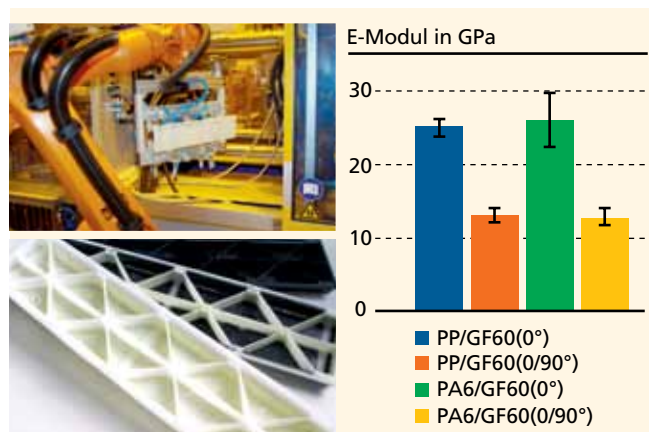
Endlosfaserverstärkte Thermoelaste verfügen über hervorragende mechanische Eigenschaften wie hohe spezifische Steifigkeiten und Festigkeiten sowie ein ausgezeichnetes Energieaufnahmevermögen. Durch die Kombination mit kurz- oder langfaserverstärkten Thermoelasten in einem neuartigen, am Fraunhofer IMWS entwickelten Hybrid-Spritzgussprozess lassen sich geometrisch komplexe Bauteile und sehr kurze Fertigungszeiten realisieren. Das bietet deutliche Vorteile für die Herstellung von serientauglichen und hoch belastbaren Leichtbaustrukturen vor allem für Automobilanwendungen. Neben der Reduzierung des Fahrzeuggewichts lassen sich die faserverstärkten Thermoelaste zudem wesentlich einfacher wiederverwerten als herkömmliche duroplastische Faserkunststoffverbunde.

Automatisierte Fertigungszelle

Für die Realisierung des Hybrid-Spritzgussprozesses wurde am Fraunhofer PAZ in Schkopau eine vollautomatisierte Fertigungszelle (Abbildung 1, links oben), bestehend aus einer Spritzgussanlage, einem Sechs-Achs-Roboter, einer Infrarot-Heizstation und einem Versuchswerkzeug im Technikumsmaßstab aufgebaut. Die verschiedenen Teilschritte umfassen die Entnahme des Faserverbund-Laminats durch den Roboter, die anschließende Erwärmung in der Infrarot-Vorheizstation, die automatisierte Laminatpositionierung in das Formgebungswerkzeug und das Warmumformen, das Umspritzen mit der Formmasse sowie das Auswerfen des finalen Hybridbauteils. Mithilfe dieser Automatisierungszelle wurden am Beispiel des hier dargestellten Biegeträgers (Abbildung 1, links unten) systematische Prozess- und Materialparameterstudien durchgeführt. Als wichtige Prozesseinflussgrößen wurden hierbei

beispielsweise die Laminat- und Werkzeugtemperatur sowie die Umformgeschwindigkeit identifiziert. Für die Strukturauslegung des Biegeträgers sind darüber hinaus mechanische Kennwerte erforderlich, welche beispielsweise im Zugversuch bestimmt werden. In Abbildung 1, rechts, sind die experimentell ermittelten E-Moduli für die untersuchten Materialsysteme Polypropylen/Glasfaser (PP/GF60) und Polyamid/Glasfaser (PA6/GF60) im unidirektionalen Aufbau (0°) und im Kreuzverbund (0/90°) dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass sich die E-Moduli der beiden unterschiedlichen Materialsysteme erwartungsgemäß nicht sehr stark unterscheiden, da die mechanischen Eigenschaften in dieser Materialrichtung im Wesentlichen durch die Glasfasern bestimmt werden.

Patrick Zierdt, Peter Stache



1 Automatisierte Fertigungszelle für die Herstellung von thermoplastbasierten Leichtbaustrukturen (links oben). Biegeträger in thermoplastischer Hybridbauweise (Länge 400 mm, links unten). Experimentell ermittelte E-Moduli von endlosfaserverstärkten Thermoelasten (rechts).

BIOLOGISCHE UND MAKROMOLEKULARE MATERIALIEN

Gruppen



Technologien für Biofunktionale Oberflächen

Wir charakterisieren und optimieren die Oberflächeneigenschaften von Polymerbauteilen und -folien und entwickeln Verfahren zur inline-Diagnostik. Durch angepasste Beschichtungen steuern wir gezielt die Biofunktionalität und reduzieren beispielsweise die Biofilmbildung.

Prof. Dr. Andreas Heilmann | andreas.heilmann@imws.fraunhofer.de



Charakterisierung medizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte

Mit maßgeschneiderter Analytik und effizienten Testmodellen für Wirkstoffe, Mundpflegeprodukte, Therapeutika und Dentalmaterialien entwickeln wir Lösungen für die Entwicklung zahnmedizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte.

Dr. Andreas Kiesow | andreas.kiesow@imws.fraunhofer.de



Bewertung von Materialien der Medizintechnik

Wir untersuchen und bewerten die morphologischen und mikromechanischen Eigenschaften von biologischen und biomedizinischen Materialien und medizinisch relevanten Kunststoffen. Dafür nutzen wir spezielle Präparationstechniken sowie elektronenmikroskopische und röntgenographische Untersuchungsmethoden.

Dr. Sven Henning | sven.henning@imws.fraunhofer.de



Naturstoffkomposite

Die Gruppe untersucht die Werkstoffeigenschaften duroplastischer Verbundsysteme mit Komponenten aus nachwachsenden Rohstoffen. Wir arbeiten an intelligenten, funktionsintegrierten Lösungen für die Fassadengestaltung und für den innovativen Membranleichtbau.

Andreas Krombholz | andreas.krombholz@imws.fraunhofer.de

»Wiederum können wir auf ein wissenschaftlich und wirtschaftlich erfolgreiches Jahr zurückblicken. Die Eingliederung der Mitarbeiter der Gruppe Naturstoffkomposite in das Geschäftsfeld und die Einbindung von Andreas Krombholz in die Leitung des Geschäftsfeldes sind vollständig gelungen.«



GESCHÄFTSFELDLEITER

Prof. Dr. Andreas Heilmann | Telefon +49 345 5589-180 | andreas.heilmann@imws.fraunhofer.de

Fokus

Für unsere Kunden aus der Medizintechnik, der Pharmazie, der Biotechnologie und der Kunststoffverarbeitung entwickeln wir Oberflächenmodifizierungs- und Beschichtungsverfahren zur Erzeugung von biofunktionalen Oberflächen. Wir bewerten die mechanischen, morphologischen und chemischen Eigenschaften von Naturstoffen und biomedizinischen Materialien und verwenden Nanotechnologien zu deren Funktionalisierung. Wir gestalten spezielle mechanische Messplätze, um einen Beitrag zur Verbesserung der Strukturbiokompatibilität von Implantatmaterialien zu leisten. Die Mikrostruktur von medizintechnisch relevanten Polymermaterialien untersuchen wir mithilfe von speziellen elektronenmikroskopischen Präparations- und Untersuchungsmethoden. Wir arbeiten an der Entwicklung von nachhaltigen und langlebigen Halbzeugen für die Bau- und Gebäudeausrüstungen.

Bemerkenswertes aus 2015

Nach einer Analyse des wissenschaftlichen Profils der Gruppe »Naturstoffkomposite« und der durch diese Gruppe bedienten industriellen Märkte wurde entschieden, mit Beginn des Jahres 2015 diese Gruppe in das Geschäftsfeld »Biologische und makromolekulare Materialien« einzugliedern. Die erfolgreiche Integration der Gruppe führte zu einer wissenschaftlichen Bereicherung besonders auf dem Gebiet der mechanischen Bewertung von Werkstoffen und Bauteilen. Das gesamte Geschäftsfeld profitiert von der Erweiterung der Themen und Märkte, eine Reihe von Verbundprojekten auf dem Gebiet der Bioökonomie konnte akquiriert werden. Auch auf den bisherigen Märkten konnten wir wichtige Neukunden gewinnen, die Stammkunden sind weiterhin von unserer Leistungsfähigkeit überzeugt. Der Industrieertrag wurde erneut gesteigert und lag zum Jahresende bei rund 1,5 Millionen Euro und damit bei mehr als 40 Prozent des Gesamtaufwands.

Die Weichen für die Zukunft sind richtig gestellt. Die hauptsächlich von Annika Thormann erfundene und inzwischen patentgeschützte Technologie zur Oberflächenstrukturierung von Kunststoffen ist die Basis für ein sehr großes Forschungsprojekt. Im Rahmen des BMBF-Förderprogramms »Unternehmen Region« haben sich das Fraunhofer IMWS und fünf Unternehmen aus dem mitteldeutschen Chemiedreieck Halle-Bitterfeld-Merseburg zu einem Wachstumskern zusammengeschlossen. Gemeinsam soll im Verbundvorhaben »Kombinierte Mikro- und Nanostrukturierung von Kunststoffen KoMiNaKu« diese Technologie industrienah weiterentwickelt werden.

NANOFASER-VLIESE FÜR MEDIZINISCHE ANWENDUNGEN

Gruppe

Bewertung von Materialien der Medizintechnik

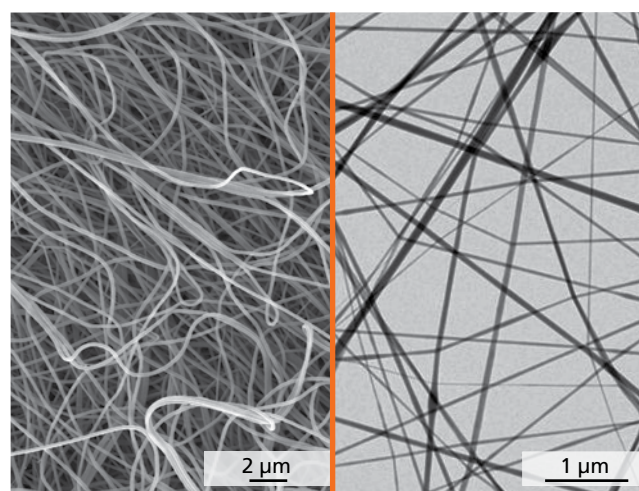
Dr. Sven Henning | Telefon +49 345 5589-292 | sven.henning@imws.fraunhofer.de

Elektrospinnen ist ein effektives, kostengünstiges und vielseitig einsetzbares Verfahren zur Herstellung sehr dünner Polymerfasern mit Durchmessern im Bereich von 10 μm bis 10 nm. Solche Vliese aus Nanofasern zeigen außergewöhnliche Eigenschaften wie eine große spezifische Oberfläche, eine einstellbare Porosität und die Möglichkeit zur Ausrüstung mit therapeutisch wirksamen Substanzen. Nachdem die Verfahren zur Nanofaser-Herstellung etabliert sind, richtet sich die Forschung auf neue Möglichkeiten, die Vliese zu stabilisieren, zu funktionalisieren und zu konfektionieren.

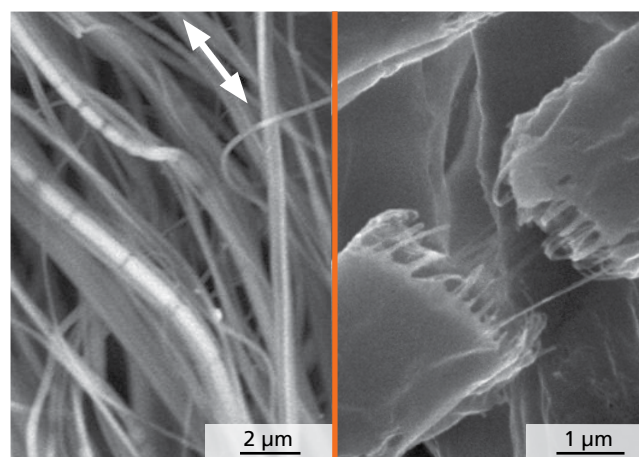
Morphologie und Mikromechanik hybrider Nanofasern

Neben der Auswahl der geeigneten Komponenten (Kombination aus Polymer, Lösungsmittel und Zuschlagstoff) hat die Morphologie der erzeugten Fasern einen entscheidenden Einfluss auf die strukturelle und biologische Kompatibilität der Nanofaservliese und -konstrukte. Die Wirksamkeit bioaktiver Substanzen, pharmazeutischer Wirkstoffe und antimikrobieller Additive ist abhängig von der Art der Einlagerung im Faserinneren oder an den Faseroberflächen. Die Freisetzung von Medikamenten wird in ähnlicher Weise durch die Morphologie der Nanofasern gesteuert: Durch die Verwendung von Polymeren mit unterschiedlichen Resorptionsraten kann die Freisetzungskinetik gesteuert werden. Durch die Kombination von Polymeren und Wirkstoffen in verschiedenen Schichten der Nanofasern oder durch Spinnen von Vliesen, die aus unterschiedlichen Fasertypen bestehen, kann so eine zeitversetzte Freisetzung von Substanzen erfolgen.

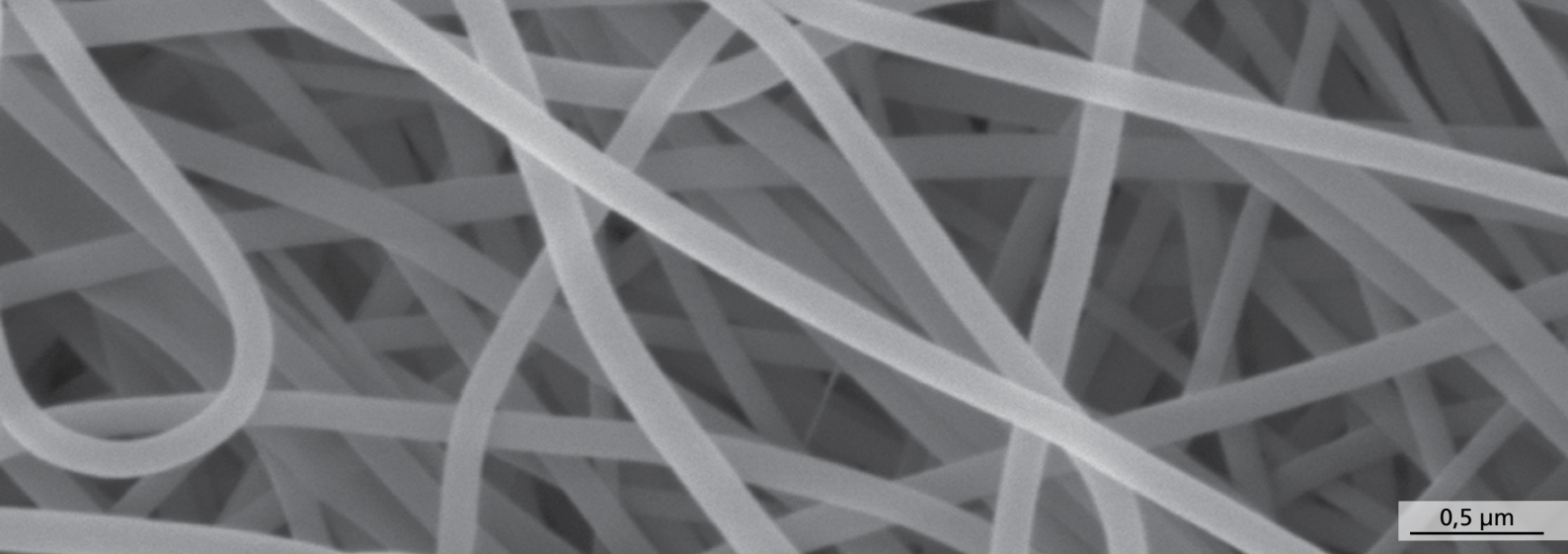
Zur Analyse der Morphologie werden am Fraunhofer IMWS verschiedene elektronenmikroskopische Techniken eingesetzt.



1 Kollagen-Nanofasern ESEM (links) und TEM (rechts).



2 Mikromechanische Prozesse in hybriden Nanofasern bei Zugversuch im REM: duktiler Verhalten mit Einschnürungen (links) und sprödes Verhalten mit Crazebildung (rechts).



0,5 μm

Elektronenmikroskopische Aufnahme einer hybriden Nanofaser.

Die Bewertung der strukturellen Kompatibilität, beispielsweise der für den medizinischen Einsatz wichtigen Steifigkeit, Festigkeit und Duktilität der Fasern, erfolgt durch mikromechanische Experimente.

Einsatz von Nanofaservliesen und -Produkten in der regenerativen Medizin

Elektrogesponnene Nanofasern aus biokompatiblen und resorbierbaren synthetischen Polymeren oder aus aufbereiteten biologischen Materialien (Kollagen, Chitosan) sind im Körper abbaubar. Sie können die extrazelluläre Matrix einer Zelle nachbilden und die Haftung von Zellen an Implantaten verstärken. Durch die Porosität der elektrogesponnenen Vliese wird den Zellen ausreichend Raum für Wachstum und Sauerstoffversorgung geboten. Diese Komponenten führen zu einer Verbesserung und Förderung von Heilungsprozessen sowie zu einer Wiederherstellung der Funktion von geschädigtem Gewebe. Die Vliese können je nach Zielstellung zusätzlich modifiziert und funktionalisiert werden. So kann man zum Beispiel durch die Zugabe von Hydroxylapatit-Nanopartikeln das Knochenwachstum stimulieren, die Fasern antimikrobiell ausrüsten oder als Wirkstoffträger für die gezielte Freisetzung von Medikamenten nutzen. Die aus Nanofaservliesen abgeleiteten Produkte sollen zum Beispiel für den Wiederaufbau geschädigter Bandscheiben, zur Regeneration von Knochen oder der Haut nutzbar gemacht werden. Dabei eignen sich kleine Vliesabschnitte insbesondere als Zellträgerstrukturen, die in Suspension mit Zellen besiedelt und an den Implantationsort injiziert werden können. Das Elektrospinnverfahren ermöglicht darüber hinaus eine effiziente Beschichtung von Materialoberflächen, wodurch eine nachträgliche

Kompatibilisierung beziehungsweise Funktionalisierung von Biomaterialoberflächen möglich ist. Weitere Projekte zielen auf die Erzeugung dreidimensionaler Nanofaser-Konstrukte, wobei zunächst röhrenförmige Produkte als Stents, Leitschienen und Katheterkomponenten eingesetzt werden sollen.

Tobias Kürbitz

ANTIFOULING-BESCHICHTUNG VON UMKEHROSMOSE-MEMBRANEN

Gruppe

Technologien für Biofunktionale Oberflächen

Prof. Dr. Andreas Heilmann | Telefon +49 345 5589-180 | andreas.heilmann@imws.fraunhofer.de

Die Gewinnung von Trinkwasser aus Meer- oder Brackwasser durch Umkehrosmose ist im Vergleich zu anderen Entsalzungsverfahren sehr energieeffizient. Die dafür verwendeten Polymermembranen sind jedoch für die Ablagerung löslicher Schwebstoffe und Mikroorganismen (Biofouling) anfällig, wodurch die Effizienz der Umkehrosmose deutlich beeinträchtigt wird. In Zusammenarbeit mit der IAB Ionenaustauscher Bitterfeld GmbH (LANXESS AG) werden am Fraunhofer IMWS Konzepte und Methoden zur Reduzierung dieses Membranfoulings entwickelt.

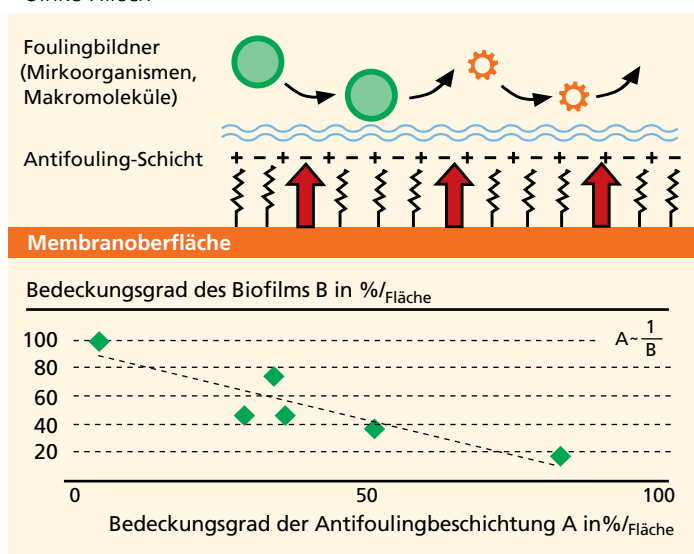
Beschichtungssystem

Mehrere plasma- und nasschemische Technologien werden miteinander kombiniert, um eine dünne, hydrophile und ladungsneutrale Oligomerschicht auf die Oberfläche der Umkehrosmose-Membrane abzuscheiden. Dabei wird zuerst die Oberfläche mit einem Plasma behandelt und mit Sauerstoffatomen funktionalisiert. Danach werden, ebenfalls durch ein Plasmaverfahren, Brominitiatoren auf der Membranoberfläche immobilisiert. Diese bilden Anknüpfungspunkte für die nachfolgende nasschemische radikalische Polymerisation von Monomeren mit hydrophilen und teilweise zwitterionischen Kopfgruppen. In einem wässrigen System bildet sich durch Hydratation derselben eine hydrogelartige Barrierschicht aus, auf der aufgrund der Unterdrückung physikalisch-chemischer Wechselwirkungen die Makromoleküle und Mikroorganismen nur schwer adhären können (Antifouling-Effekt, Abbildung 1 oben). Da das Wirkprinzip der Beschichtung unspezifisch ist, kann es auch auf andere Materialien übertragen werden, die im Kontakt mit einem wässrigen Medium stehen.

Antifouling-Wirksamkeit

In Bewuchsversuchen mit dem Mikroorganismus *Pseudomonas fluorescens* wurde die Wirksamkeit der Antifouling-Beschichtung nachgewiesen. Mit zunehmendem Bedeckungsgrad der Beschichtung auf der Membranoberfläche verringert sich der Biofilmbewuchs. Bei einer annähernd vollständigen Bedeckung der Beschichtung beträgt der Biofilmbewuchs im Vergleich zur unbeschichteten Referenz nur noch etwa 20 Prozent (Abbildung 1 unten). Zusätzlich wurde ein positiver Effekt der Antifouling-Beschichtung auf die Trenneigenschaften der Umkehrosmose-Membran festgestellt.

Ulrike Hirsch



1 Schematische Darstellung des Antifouling-Effekts (oben). Reduzierter Biofilmbewuchs in Anwesenheit der Antifouling-Beschichtung (auf Membranen) (unten).

MITTELGESICHTSIMPLANTATE MIT NANOSTRUKTURIERTEN OBERFLÄCHEN

Gruppe

Technologien für Biofunktionale Oberflächen

Prof. Dr. Andreas Heilmann | Telefon +49 345 5589-180 | andreas.heilmann@imws.fraunhofer.de

Die Fallzahlen von Frakturen im Bereich des Mittelgesichtes sind in den vergangenen Jahren stark gestiegen. Bei der Behandlung geht es neben der Heilung komplizierter Brüche auch um die ästhetische Wiederherstellung des Gesichts. Das gegenwärtig übliche Verfahren der Osteosynthese im Mittelgesicht erfolgt vorwiegend mit Mini- bzw. Mikroplatten aus Titan. Sind großflächige Bereiche der Gesichtsknochen zertrümmert, können diese mit den herkömmlichen Osteosyntheseverfahren oftmals nur unzureichend behandelt werden. Das am Fraunhofer IMWS entwickelte, neue Implantatsystem setzt deshalb auf die Kombination eines lasttragenden Kunststoffkerns mit einem umhüllenden nanostrukturierten Polymer.

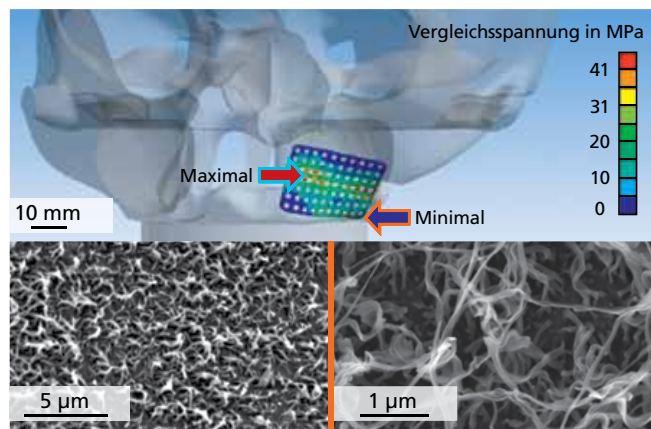
Design und Materialauswahl

Unter Berücksichtigung einer retrospektiven Analyse der Defektregeneration des Mittelgesichtes wird dabei ein anatomisch repräsentatives Finite-Elemente Modell des Mittelgesichtes realisiert. Das Implantatdesign wird basierend auf der Frakturgröße und -position sowie der Belastungs-, Muskel- und Gelenkkräfte festgelegt (Abbildung 1, oben). Die Auswahl der thermoplastischen, biokompatiblen Kunststoffe des Implantats orientiert sich an den natürlichen Steifigkeiten und Festigkeiten des umgebenden Knochen- und Weichteilgewebes ($E_{\text{Corticalis}}$: 15000 N/mm², $E_{\text{Spongiosa}}$: 1000 N/mm²) der Defektstelle. Für den Kern wurde mechanisch stabiles ultrahochmolekulares Polyethylen (PE-UHMW, E : 2700 N/mm²) und für die Außenhaut weiches, flexibles Polyethylen mit hoher bzw. niedriger Dichte (PE-HD, E : 1000 N/mm², PE-LD, E : 200 N/mm²) ausgewählt. Die festigkeitsoptimierte Schichtverbindung erfolgte mittels Vakuum laminierung.

Texturierung

Damit sich das Implantat optimal ins Weichgewebe integriert, wird zudem die Implantatoberfläche speziell angepasst. Hierzu wurde durch Abformung von nanoporösen Aluminiumoxid-templaten die Implantatoberfläche mit einer Nano- bzw. Mikrofaserstruktur texturiert, um die Anbindung der Zellen des umgebenden Weichgewebes zu fördern und die Bildung von fibrösem Gewebe auszuschließen (Abbildung 1, unten). So soll sichergestellt werden, dass das Implantat nicht verrutscht, sondern dauerhaft an der vorgesehenen Stelle verbleibt. Die Entwicklung dieser neuen Gesichtsimplantate wurde 2014 mit dem Hugo-Junkers-Preis des Landes Sachsen-Anhalt ausgezeichnet.

Maik Rudolph, Annika Thormann



1 Modellierung des neuen Implantatsystems mithilfe der Finite-Elemente Methode (oben). Nanostrukturierte Oberfläche des Implantatmaterials aus Polyethylen (unten). Bilder © Hochschule Merseburg

MIKROSTRUKTURANALYTIK AN INFILTRIERTEN KARIESLÄSIONEN

Gruppe

Charakterisierung medizinischer und kosmetischer Pflegeprodukte

Dr. Andreas Kiesow | Telefon +49 345 5589-118 | andreas.kiesow@imws.fraunhofer.de

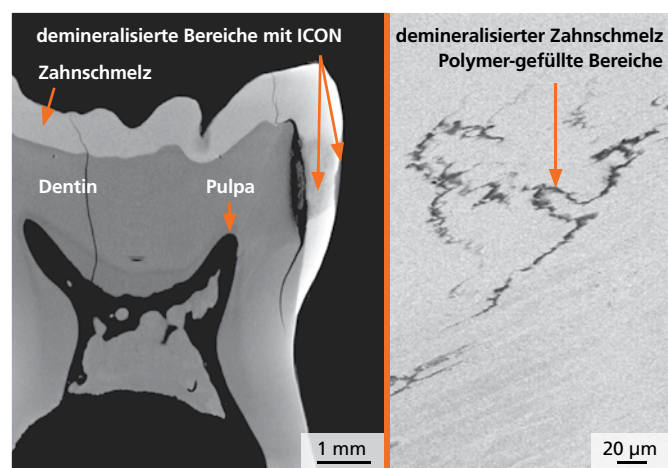
Karies zählt zu den häufigsten chronischen Zahnkrankheiten. Initiale Karies ist durch einen zunächst lokal begrenzten Mineralmangel des Zahnschmelzes charakterisiert. Diese Demineralisation kann durch Remineralisierungsmaßnahmen behandelt werden. Schreitet die Demineralisation jedoch fort, bricht die Struktur des Zahnschmelzes zusammen und ein Griff zum Bohrer wird notwendig. Eine mikroinvasive, technische Alternative, entwickelt und vorangetrieben durch die Dental-Material-Gesellschaft mbH (DMG Hamburg), ist die Kariesinfiltration mit ICON. Dabei wird die so genannte pseudointakte Oberfläche mittels Ätzen entfernt, bevor das niedrigviskose Polymer ICON appliziert wird. Dieses füllt die Porositäten und wird in der Läsion ausgehärtet. So wird eine mechanische Stabilisierung der Schmelzstruktur erreicht und eine weitere Demineralisation verhindert. Obwohl eine Reihe klinischer und in vitro-Studien den Behandlungserfolg bestätigen, bestehen noch Fragen zur Lebensdauer, Zuverlässigkeit und zum grundlegenden mikrostrukturbasierten Verständnis der Infiltration.

Vorgehensweise und Ergebnisse

In einem Kooperationsprojekt zwischen der DMG, dem Fraunhofer IMWS sowie der Faculty of Dentistry der Universität Otago, Neuseeland, als klinischem Partner wurden Läsionen an Milchzähnen mit ICON behandelt und nach Exfoliation materialwissenschaftlich analysiert. Erstmals liegen damit Zähne mit infiltrierten Läsionen, die dem oralen Milieu über Monate ausgesetzt waren, für eine ex vivo-Studie vor. Dabei gilt es, klinische Daten mit denen der Mikrostrukturanalyse in Korrelation zu bringen und zu überprüfen, ob und in welcher Form ICON im demineralisierten Zahnhartgewebe vorhanden ist und wie bei einer intakten, das heißt die Kariesprogression

verhindernden Infiltration, die Grenzflächen ausgebildet sind. Durch Mikro-Röntgen-Computertomographie (Abbildung 1, links) wird zunächst die infiltrierte Läsion lokalisiert. Am daraus generierten Probenquerschnitt wird eine höheraufgelöste rasterelektronenmikroskopische Analyse durchgeführt, das Ergebnis ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Mineral-defizitären Regionen sind durch den dunkleren Kontrast charakterisiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das ICON-Polymer einige hundert Mikrometer tief in die Läsion eingedrungen ist und dort auch während mehrerer Monate verblieben ist. Dies konnte an in vivo-infiltrierten Zähnen nachgewiesen werden.

Dr. Vanessa Sternitzke



1 Mikro-Röntgen-Computertomographische Aufnahme eines infiltrierte Zahnes im Querschnitt (links). Rasterelektronenmikroskopische Abbildung (rechts).

LIGNINBASIERTE MULTIFUNKTIONALE NATURSTOFFKOMPOSITE

Gruppe

Naturstoffkomposite

Andreas Krombholz | Telefon +49 345 5589-153 | andreas.krombholz@imws.fraunhofer.de

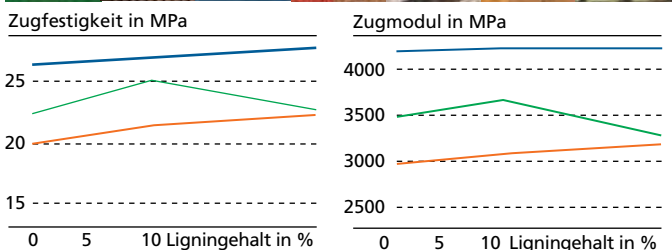
Mithilfe des Organosolv-Verfahrens kann Buchenholz in Einzelkomponenten wie zum Beispiel Fasern und schwefelfreies, niedermolekulares Lignin aufgeschlossen werden. Dieses Organosolv-Lignin lässt sich in phenolische Harzsysteme integrieren – mit Ligninanteilen bis zu 40 Prozent. Durch die variierenden Anteile des Lignins können unterschiedliche Stufen eines biobasierten Duromers generiert werden. Dabei wirkt das Lignin nicht nur als Füllstoff, sondern wird aufgrund seiner aromatischen Struktur kovalent eingebunden. Die modifizierten Resole lassen sich etwa als Bindemittel für Naturfaser-Lamine oder für Schaumsysteme variierender Dichte verwenden. Kombiniert man diese Produkte, können hochdämmende Konstruktionselemente in Form einer modular verwendbaren Sandwichstruktur generiert werden, die in Bauwesen und Architektur genutzt werden.

Mechanische Analyse

Mit diesem Verbundwerkstoff, hergestellt aus Buchenholzfasern und imprägniert mit einem ligninbasierten duroplastischen Harzsystem, lassen sich je nach Anforderungsprofil hochfeste Lamine in Standardverfahren der Holzindustrie herstellen (Abbildung 1). Es wurde eine ausführliche Charakterisierung an Laminaten durchgeführt. Als Faserstoff wurden Buchenfasern verwendet und als Bindemittel die folgenden drei Harzsysteme: P00 (Kein Lignin), P10 (10 Prozent Lignin vorvernetzt), P20 (20 Prozent Lignin vorvernetzt). Es wurden Lamine mit variierendem Matrix-Feststoffanteil von 10, 20 und 30 Prozent hergestellt und geprüft. Somit wurde die mechanische Charakterisierung an neun Laminatvarianten durchgeführt. Die Prüfung erfolgte bei Raumtemperatur (RT), -30°C und 80°C mittels Zugversuchen, Biegeversuchen und Schlagzähigkeitsmessung. Zudem wurden

Brandtests und Bewitterungsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in Abhängigkeit des Ligningehalts ausgewertet und sind in Abbildung 1 unten dargestellt. Bei einem Harz-Anteil von 20 Gewichtsprozent ergaben sich die besten mechanischen Kennwerte. Weiterhin fallen die Kennwerte mit steigender Prüftemperatur ab. Der Ligningehalt zeigt keinen eindeutigen Einfluss auf die mechanischen Kennwerte. Bis zu einer Beimischung von 20 Gewichtsprozent Organosolv-Lignin weist das Phenolharzsystem keine veränderten Eigenschaften gegenüber dem unmodifizierten Grundsystem auf und kann daher analog verarbeitet und eingesetzt werden.

Andreas Krombholz, Nicole Eversmann



1 Gestaltungsmöglichkeiten der Lamine im Fertigungsprozess (oben). Mechanische Zug- und Biegeprüfung von Buchenfaser-Phenolharz-Laminaten mit variierendem Ligningehalt (unten).

KOMPONENTEN DER MIKROELEKTRONIK UND MIKROSYSTEMTECHNIK

Gruppen



Bewertung elektronischer Systemintegration

Um die Fertigungsqualität im Packaging und die Zuverlässigkeit im Einsatz zu sichern, analysieren wir Fehlermechanismen in Werkstoffen und Komponenten der Aufbau- und Verbindungstechnik mikroelektronischer Automobil- und Leistungselektronik.

Sandy Klengel | sandy.klengel@imws.fraunhofer.de



Nanomaterialien und Nanoanalytik

Wir charakterisieren die Mikro- und Nanostruktur von Materialien und Systemen glaskeramischer, optischer und magnetischer Werkstoffe sowie Materialien der Nanotechnologie. Zudem entwickeln wir artefaktfreie Hochdurchsatz-Präparationsverfahren für die Mikrostrukturdiagnostik.

Prof. Dr. Thomas Höche | thomas.hoeche@imws.fraunhofer.de



Diagnostik Halbleitertechnologien

Wir betreiben Ursachenforschung für Materialwechselwirkungen, Defekte und funktionale Fehlerursachen in mikroelektronischen integrierten Schaltkreisen und Halbleiter-Bauelementen und setzen dafür sehr leistungsfähige, hochauflösende Analysetechniken ein.

Frank Altmann | frank.altmann@imws.fraunhofer.de

» Die Sicherung von Zuverlässigkeit und Robustheit moderner Elektronikbauelemente sowie die Entwicklung neuer Funktionswerkstoffe erfordert eine detaillierte Beherrschung des Materialverhaltens – eine leistungsfähige mikrostrukturelle Diagnostik ist dafür heute unabdingbar.«



GESCHÄFTSFELDLEITER

Prof. Dr. Matthias Petzold | Telefon +49 345 5589-130 | matthias.petzold@imws.fraunhofer.de

Fokus

Wir beschäftigen uns mit der Materialdiagnostik von Bauelementen, Komponenten und Werkstoffen der Elektronik, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie. Ziel ist es, die Mikrostruktur, Materialwechselwirkungen oder Defektbildungen in Korrelation zu Technologie und Design sowie den Einsatzbedingungen im Detail zu beherrschen. Für unsere Kooperationspartner tragen diese Ergebnisse dazu bei, Fertigungsprozesse weiter zu entwickeln und innovative, in der Anwendung zuverlässige Bauelemente und Systeme mit hoher Qualität in den Markt zu bringen. Dafür führen wir Forschungsarbeiten zur Werkstoffcharakterisierung, mikrostrukturellen Analytik, physikalischen Fehlerdiagnostik sowie zur mechanischen Bewertung durch. Gleichzeitig entwickeln wir die auch dafür erforderlichen Tests, Diagnostik- und Modellierungsverfahren sowie die zugehörige Technik weiter.

Bemerkenswertes aus 2015

2015 können wir auf einen erfolgreichen Start von zwei größeren europäischen Verbundvorhaben zurückblicken: Im ECSEL-Projekt Powerbase werden wir unsere Kenntnisse zu den Zuverlässigkeitseigenschaften von GaN als Halbleitermaterial für die Leistungselektronik erweitern. Im CATRENE-Projekt SAM 3 entwickeln wir in den nächsten drei Jahren neue Fehleranalytikverfahren für 3D-integrierte »System in Package«-Technologien und ermöglichen damit einen strategischen Ausbau unserer Kernkompetenzen.

Im Verbundvorhaben von Fraunhofer- und Max-Planck-Gesellschaft HEUSLER zur Erforschung neuer Magnetmaterialien wurde der zentrale Meilenstein erreicht und die Fortsetzung des Vorhabens freigegeben. Vor allem aber war das vergangene Jahr durch eine vielfach erweiterte Auftragsforschung mit Industriepartnern geprägt, insbesondere im Bereich der Zuverlässigkeit elektronischer Anwendungen im Automobil. Unser CAM-Workshop konzentrierte sich daher auch auf innovative Fehlerdiagnostiken für die Automobilelektronik. Wir konnten 200 Teilnehmer begrüßen, circa 150 davon aus der Industrie. In Erweiterung dessen werden wir 2016 das Europäische Symposium für Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente, Fehlerphysik und -analyse (ESREF) in organisieren, die Vorbereitungen dafür laufen auf Hochtouren.

MICROPREP™ – LASERBASIERTE PROBENPRÄPARATIONSPLATTFORM

Gruppe

Nanomaterialien und Nanoanalytik

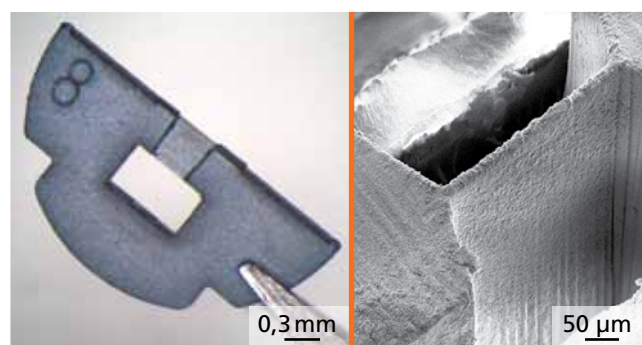
Prof. Dr. Thomas Höche | Telefon +49 345 5589-197 | thomas.hoeche@imws.fraunhofer.de

Ungeachtet der zahlreichen Neuerungen im Bereich der Gerätetechnik für die hochauflösende Mikrostrukturanalytik hat die Maxime, dass jede Analyse nur so gut sein kann wie die zugrundeliegende Probe, unverändert Bestand. Dementsprechend intensiv wird in der Gruppe Nanomaterialien und Nanoanalytik an neuartigen Methoden zur artefaktfreien und effizienten Zielpräparation geforscht. Der Trend hin zu dreidimensional integrierten Funktionsstrukturen einerseits und zur Hochdurchsatzmaterialentwicklung andererseits bringt dabei neue Erfordernisse mit sich, denen mit evolutionärer Weiterentwicklung etablierter Verfahren kaum entsprochen werden kann. Besonders augenscheinlich ist dieser Umstand, wenn große Volumina mit einer Genauigkeit im Bereich weniger Mikrometer freigelegt werden sollen.

So kann zwar beispielsweise mit der weit verbreiteten Präparation von Lamellen für die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) mittels fokussierter Ionenstrahltechnik (FIB) eine Zielpräparation auf der 10 nm-Skala genau erfolgen, die Lamellen sind aber aufgrund der vergleichsweise geringen Ablationsraten der Ga⁺-Ionen in der Regel nicht größer als 20 x 5 x 0,1 µm³. Ein sehr vielversprechendes alternatives Verfahren stellt die Lasermikrobearbeitung dar. Deren Potenzial für die Präparation von Proben für die Mikrostrukturdiagnostik wurde zunächst im Rahmen des Fraunhofer-internen Attract-Projekts NanoAssess und später in direkter Kooperation mit der 3D-Micromac AG Chemnitz als Spezialmaschinenbauer für Lasermikrobearbeitungsanlagen validiert.

Paradigmenwechsel für die TEM-Präparation

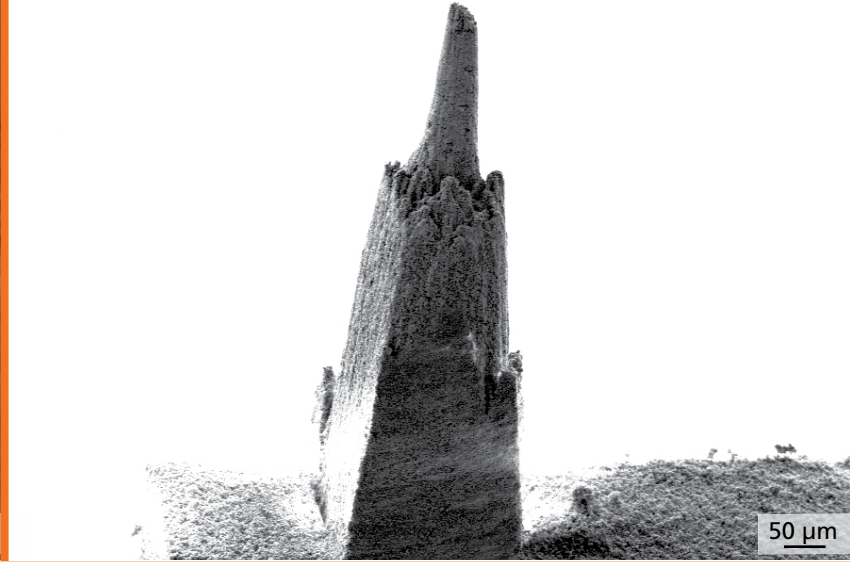
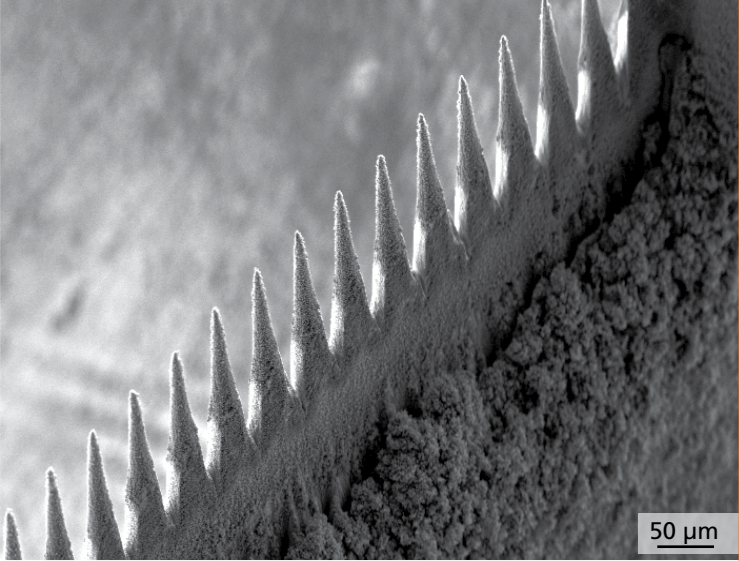
Laserstrahlung weist als Instrument für die Probenpräparation viele offensichtliche Vorteile auf: Sie ist frei von Elementkon-



1 Lichtmikroskopische Aufnahme eines 3 mm-Durchmesser-Halbringes mit bereits abgedünnter Zielstelle für die TEM-Untersuchung (links). Rasterelektronenmikroskopische Abbildung eines 400 µm breiten Zielbereichs in Saphir (rechts).



2 microPREP™, Laser-Klasse1-Gerät mit Touchscreen-Steuerung.



Lasergeschnittene Reihe von Spitzen in Si (links). Auf einige 10 µm kegelstumpfförmig abgedünnte Ölschiefer-Probe für die Röntgenmikroskopie (rechts).

taminationen, reproduzierbar erzeugbar, kosteneffizient und auf der einstelligen Mikrometerskala positionierbar. Das Risiko einer thermischen Schädigung ist beherrschbar: Bei der Wahl eines geeigneten UltrakurzpulsLasers und einer optimierten Bearbeitungsstrategie kann die Wärmeeinflusszone unabhängig vom Materialsystem auf wenige hundert Nanometer reduziert werden. Durch eine Kombination von Lasermikrobearbeitung und finaler Ionenstrahlpolitur können demnach sowohl große Volumina entfernt als auch schädigungsfreie Oberflächen schnell und reproduzierbar bereitgestellt werden. Für die Präparation von Volumenmaterialien hat sich dabei folgende Route als besonders günstig herausgestellt:

1. Ausschneiden einer Grundstruktur mittels Laser,
2. lokales Abdünnen des Zielbereichs mittels Laser sowie
3. Polieren des Zielbereichs mittels Edelgas-Ionenstrahl oder Fokussierter Ionenstrahltechnik zur Erzielung der Elektronentransparenz.

In Abbildung 1 links ist eine TEM-Probe nach dem planparallelen Abdünnen des Zielbereichs, jedoch vor dem Polieren dieser Zielstelle mit einem Ionenbreitstrahl gezeigt. Proben können zur besseren Nachverfolgbarkeit individuell beschriftet, mit einem »data matrix code« oder einem Strichcode versehen werden. In Abbildung 1 rechts ist belegt, dass auch nichtleitende oder magnetische Materialien sowie Dielektrika (die bei der Wellenlänge des Lasers transparent sind) aufgrund der durch die hohen Leistungsdichten erzielten Multiphotonenabsorption problemlos mittels Laser konfektionierte und abgedünnt werden können. Die Zielgenauigkeit der Bearbeitung liegt dabei unter 3 µm, typische Laserbearbeitungszeiten (beide Prozessschritte inklusive des Umspannens)

bei deutlich unter 30 Minuten. Die oben geschilderte Funktionalität wurde im dedizierten microPREP™-Präparationstool des Entwicklungspartners 3D-Micromac AG realisiert, siehe Abbildung 2.

Konnten zunächst nur »plane view«-Volumenpräparate erzeugt werden, wurde unlängst eine Erweiterung hin zur Entnahme von Querschnittsproben zum Schutzrecht angemeldet. Sie wird gegenwärtig in das Maschinenkonzept eingepflegt.

Vielseitiges Werkzeug, nicht nur für TEM

Auch für die Röntgenmikroskopie sowie Massivproben-Geometrien für die Atomsondentomographie wurde microPREP™ bereits erfolgreich erprobt. Weitere Entwicklungen mit Bezug zur Herstellung von Proben für die Mikro- und Nanomechanik, TEM-Tomographie, Querschnittsrasterelektronenmikroskopie sowie korrelative Mikroskopie werden angegangen.

Damit hat microPREP™ sämtliche Voraussetzungen, um zukünftig die Arbeitsabläufe in der Mikrostrukturdiagnostik noch weiter zu optimieren und im bereits sehr umfangreichen Präparationsinstrumentarium am Fraunhofer IMWS einen zentralen Platz einzunehmen.

Dr. Michael Krause

LOKALISIERUNG VON SCHWACHSTELLEN IN DÜNNEN ISOLATIONSSCHICHTEN

Gruppe

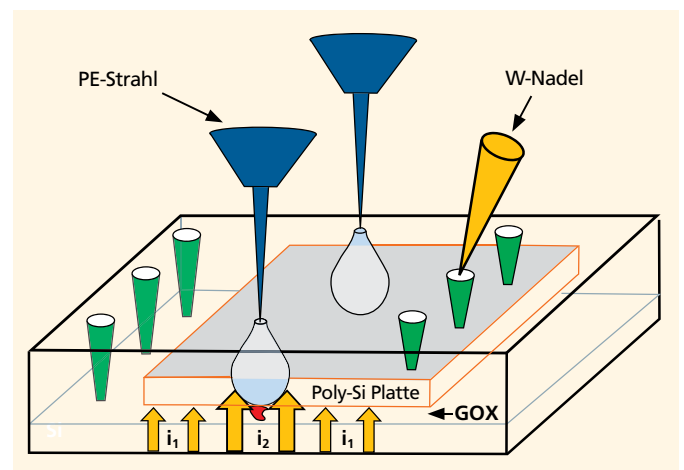
Diagnostik Halbleitertechnologien

Frank Altmann | Telefon +49 345 5589-139 | frank.altmann@imws.fraunhofer.de

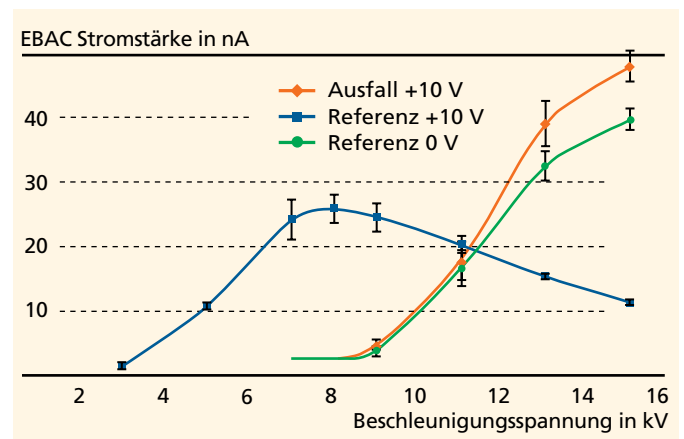
Defekte in sehr dünnen funktionalen Isolationsschichten begrenzen die Leistung und die Lebensdauer von Transistor- und Kondensatorstrukturen auf integrierten Schaltkreisen (IC). Häufig sind sie verantwortlich für den Ausfall ganzer elektronischer Baugruppen. Ursache der strukturellen Schwachstellen sind oft Verunreinigungen oder lokale Dickenschwankungen im Nanometerbereich der Isolationsschichten. Strukturelle Analysen können prozessbedingte Schwachstellen aufzeigen und sie von Fehlern durch elektrische Überbeanspruchung, wie zum Beispiel ESD-Schäden, unterscheiden. Von besonderer Bedeutung für die Ursacheninterpretation ist dabei die Erhaltung der originalen Defektsignatur, auch während die Probe zur Fehlerlokalisierung elektrisch betrieben wird. Mittels neu entwickelter Electron Beam Absorbed Current-Techniken (EBAC) im Rasterelektronenmikroskop können Defekte und Schwachstellen in dünnen Isolationsschichten nm-präzise lokalisiert und anschließend im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) detailliert untersucht werden.

Lokalisierungsprinzip in dünnen Isolationsschichten mittels EBAC

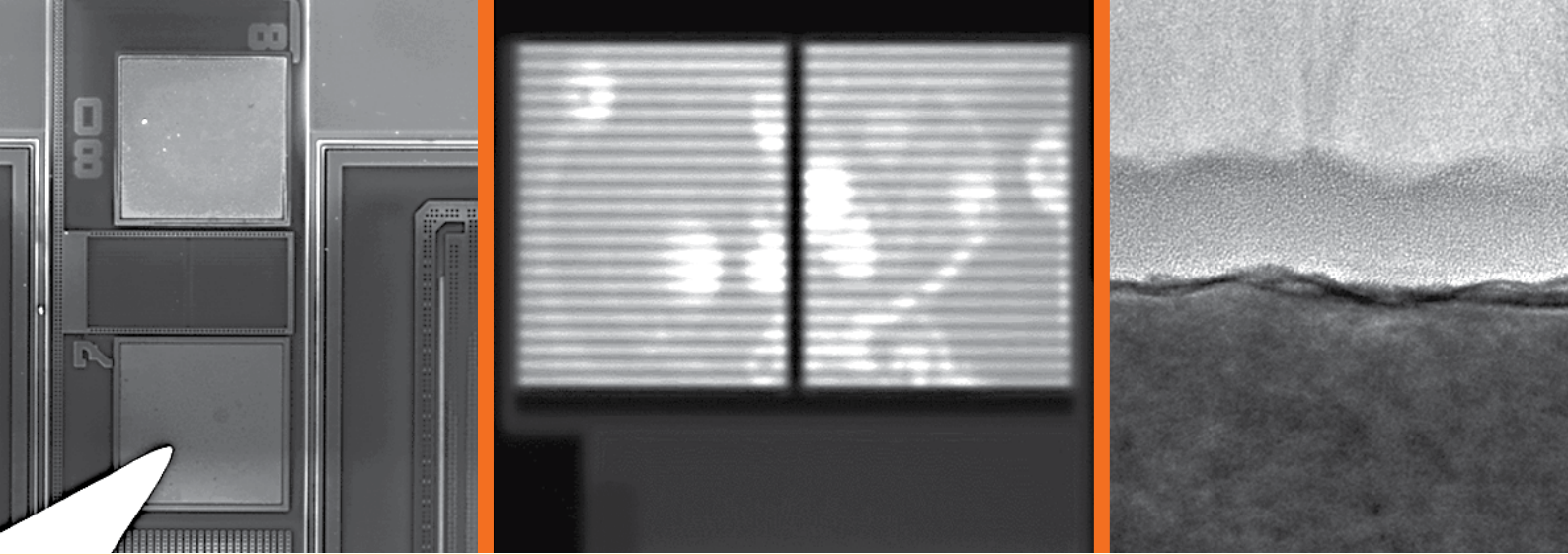
Zur Lokalisierung von Schwachstellen ohne elektrischen Durchbruch werden zusätzliche Ladungsträger innerhalb des Halbleitersubstrats, aber unterhalb der Isolationsschicht mit einem fokussierten Elektronenstrahl erzeugt (Abbildung 1). Sobald eine zusätzliche Vorspannung anliegt, wird durch die Isolationsschicht innerhalb der Transistor- oder Kondensatorstruktur ein erhöhter Tunnelstrom, vergleichbar der Hot Carrier Injection eines Transistors, messbar und mit dem Bild des Rasterelektronenmikroskops überlagert. Bereiche mit unterschiedlichen Stromstärken entstehen dabei durch Schwan-



1 Messprinzip zur Lokalisierung von Oxidschwachstellen ohne elektrischen Durchbruch durch Nutzung einer lokalen Vorspannung.



2 Abhängigkeit der messbaren EBAC-Stromstärke von der Beschleunigungsspannung des Rasterelektronenmikroskops mit unterschiedlichen Vorspannungen.



Elektronenmikroskopische Aufnahmen einer kontaktierten Oxidstruktur (links) mit lokalisierten Schwachstellen (Mitte) durch Substratrauigkeiten (rechts).

kungen der Oxiddicke, Verunreinigungen oder beispielsweise Substrat-Unebenheiten. Unter realen Betriebsbedingungen führen sie zu einer Verringerung der Durchbruchspannung der dielektrischen Schicht und damit zu einer reduzierten Bauteillebensdauer.

Parameteroptimierung zur Defekt- und Schwachstellenlokalisierung

Zum optimalen Nachweis der sehr geringen Stromstärkeunterschiede des EBAC-Verfahrens müssen die Parameter des Rasterelektronenmikroskops an die jeweils zu untersuchende IC-Struktur und den zu untersuchenden Fehlermodus angepasst werden. Für harte Durchbrüche wird ein Signalmaximum bei definierter Beschleunigungsspannung für das Eindringen der Elektronen oberhalb der Isolationsschicht erreicht. Um Schwachstellen ohne harten Durchbruch lokalisieren zu können, sind eine definierte Beschleunigungsspannung zum Erreichen der Halbleitersubstratebene (Abbildung 2) und eine Vorspannung zur Generation des Tunnelstromes notwendig. Eine möglichst hohe Auflösung wird durch die Nutzung einer geringen Beschleunigungsspannung des Rasterelektronenmikroskops bei ausreichender Intensität des gemessenen Tunnelstroms realisiert. Dies erlaubt anschließend eine exakte Zielprobenpräparation der Defektstelle mittels fokussierter Ionenstrahltechnik für die nachfolgende Fehleranalyse im Transmissionselektronenmikroskop.

Physikalische Fehleranalyse an einer geschwächten Isolationsschicht

Beispielhaft ist im Bild oben die Untersuchung einer 17 nm dicken Gateoxid-Struktur mit zu geringer Durchbruchspan-

nung gezeigt. Ungestresste Proben derselben Charge wurden mittels piezogetriebenen Nadelmanipulatoren im Rasterelektronenmikroskop kontaktiert und mit definierten Vorspannungen beaufschlagt und die Struktur mittels EBAC-Verfahren untersucht. Im Ergebnis konnten Unregelmäßigkeiten in der Stromverteilung nachgewiesen werden. Eine anschließende TEM-Untersuchung verdeutlichte eine erhöhte Substratrauigkeit, die zur Inhomogenität der Gateoxidschicht führt. Die resultierenden lokalen Feldüberhöhungen verursachen die geringere Durchbruchsspannung.

Jörg Jatzkowski

MIKROSTRUKTURELLE BEWERTUNG FÜR DIE AUTOMOBILELEKTRONIK

Gruppe

Bewertung elektronischer Systemintegration

Sandy Klengel | Telefon +49 345 5589-125 | sandy.klengel@imws.fraunhofer.de

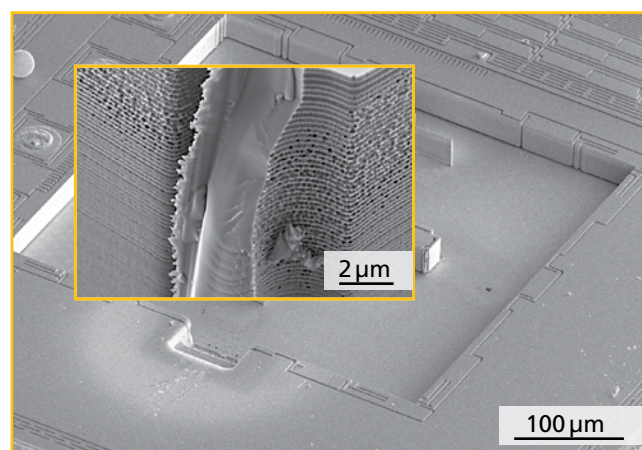
Die Insassensicherheit im Auto hängt wesentlich von der implementierten Elektronik ab. In allen Funktionsbereichen messen, steuern und regeln elektronische Komponenten Drücke, Temperaturen, Beschleunigungen, Füllstände und vieles mehr. Zunehmend kontrollieren Assistenzsysteme die Aktionen des Fahrers und greifen im Notfall aktiv ein oder unterstützen – wie beispielsweise beim Notbremsassistenten und der automatischen Einparkhilfe. Das pilotierte Fahren ist längst keine Vision mehr, sondern absehbare Zukunft. Die größte Herausforderung dabei wird sein, die Verlässlichkeit sämtlicher elektronischer Bauteile und ihrer Kommunikation untereinander unter allen erdenklichen Belastungsszenarien zu gewährleisten. Das tiefe Wissen um das Verhalten und die Wechselwirkungen der elektronischen Komponenten und Systeme unter diesen Bedingungen ist von essentieller Bedeutung für die Sicherheit der Technologien und damit letztlich auch für die der Fahrzeuginsassen.

Bewertung von Ausfallmechanismen während der Qualifikation

Dabei werden moderne Sensor-Systeme zur Drehraten- oder Beschleunigungsmessung, wie sie beispielsweise in Fahrassistenzsystemen oder Airbags eingesetzt werden, mit mikromechanischen Verfahren hergestellt. Hier gilt es, die Ausfallursachen dieser Bauteile während ihrer Qualifikation unter extremen Umwelt- und Betriebsbedingungen sicher zu bewerten. Diese Strukturen mit Dimensionen von wenigen Mikrometern, zehnmal kleiner als ein Haar im Durchmesser, werden bewusst zum Versagen gebracht und anschließend fraktographisch bewertet (Abbildung 1). Dabei sind die typischerweise sehr robusten Packages eine Herausforderung, um den Zugang

zur Ausfallstelle zu bekommen. Durch spezialisierte Präparationstechniken wie zum Beispiel Plasma-FIB-Bearbeitung oder Mikromanipulation ist es möglich, auf das Bauteil abgestimmte Access-Strategien zu entwickeln, einen Artefakt-freien Zugang zur Ausfallursache zu ermöglichen und diese zu bewerten. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen, kritische Designs zu isolieren, beziehungsweise ermöglichen eine Beurteilung der Lebensdauer unter extremen Einsatzbedingungen.

Jan Schischka, Robert Klengel



1 Beschleunigungssensor eines Airbags nach Schockbelastung: Die fraktographische Analyse der Versagensstelle zeigt den Einfluss von Materialinhomogenitäten auf die Belastbarkeit der Baugruppe unter extremen Bedingungen. Hier wurde die primäre Versagensursache in einem Bereich mit Ätzfehlern/Poren detektiert, die die Festigkeit derart schwächen, dass ein initialer Bruch entsteht und anschließend das Gesamtsystem kollabiert.

BEWERTUNG VON HALBLEITERBAUELEMENTEN MIT OBERFLÄCHENDEFEKTEN

Gruppe

Bewertung elektronischer Systemintegration

Sandy Klengel | Telefon +49 345 5589-125 | sandy.klengel@imws.fraunhofer.de

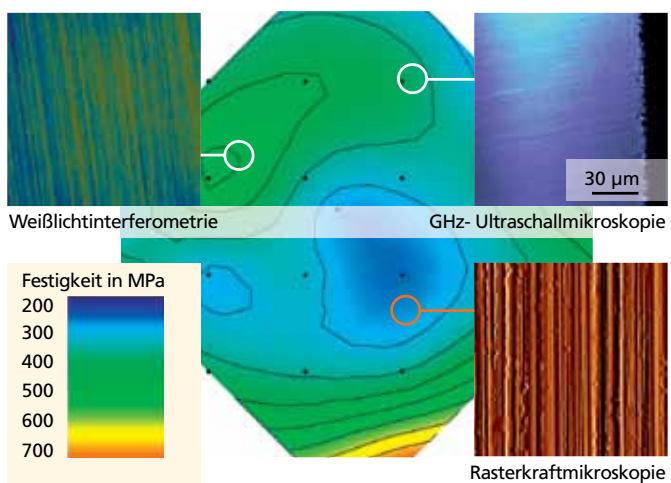
Halbleiterbauelemente werden während der Verarbeitung im Bereich Handling und Packaging sowie während ihrer Anwendung mechanischen und thermo-mechanischen Belastungen ausgesetzt. Weil typische Halbleitermaterialien wie Si, Ge, GaN und SiC ein empfindliches Spröbruchverhalten aufweisen, können eingebrachte Spannungen in Kombination mit Mikrodefekten zum elektrischen Ausfall bis hin zum Bruch des Halbleiters führen. Neben Schädigungen der Chip-Kanten durch Vereinzlungsprozesse verringern Oberflächendefekte durch Abdünn- oder Pick-and-Place-Anwendungen die Festigkeit. Zusätzlich wird die Festigkeit der Chip-Oberfläche durch mögliche intrinsische Eigenspannungen beeinflusst, die zum Beispiel durch Beschichtungen (Metallisierung oder Passivierung) entstehen. Am Fraunhofer IMWS werden dabei eingebrachte Schädigungen bewertet und prozessoptimierende Maßnahmen abgeleitet. Dazu werden mikrostrukturelle Analysen der Oberflächenstruktur mit probabilistischen Methoden der experimentellen Festigkeitscharakterisierung sowie der numerischen Modellierung kombiniert.

Charakterisierung der Oberflächentopologie und Oberflächenschädigung

Um den Einfluss von Kantendefekten auszuschließen, erfolgt die Bewertung der Halbleitermaterialien mit oberflächensensitiven Experimenten wie Kugel-Ring- oder Ring-Ring-Versuchen. In Ergänzung zur Festigkeitsbewertung findet eine systematische Korrelation der charakteristischen Festigkeitskenngrößen mit der morphologischen Oberflächenbeschaffenheit der Proben statt. Hierfür sind analytische Verfahren wie Rasterelektronenmikroskopie, GHz-Ultraschallmikroskopie,

Rasterkraftmikroskopie oder Weißlichtinterferometrie zur Oberflächenbewertung geeignet. Im Ergebnis liegen die Einflussgrößen verschiedener Prozessparameter oder Prozessschritte in Kombination mit den Oberflächeneigenschaften vor. Abbildung 1 zeigt die ermittelte lokale Festigkeitsverteilung eines abgedünnten Si-Wafers in Kombination verschiedener Methoden zur Oberflächenbewertung. In Verbindung mit geeigneter Modellierung können industrielle Anwender somit kritische festigkeitsrelevante Prozessschritte identifizieren, optimieren und entsprechende festigkeitsfördernde Maßnahmen einleiten. Das trägt dazu bei, chipbruchbedingte Ausfälle zu vermeiden.

Falk Naumann, Marcel Mittag



1 Ermittelte Festigkeitsverteilung eines Si-Wafers nach dem Abdünnen in Kombination zur Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit.

FRAUNHOFER-CENTER FÜR SILIZIUM-PHOTOVOLTAIK CSP

Zuverlässigkeit und Technologien für die Netzparität ZTN

Gruppen



Diagnostik Solarzellen

Wir charakterisieren Solarzellen elektrisch, analysieren Spurenelemente der Materialien und Prozessstoffe und diagnostizieren Mikrostrukturdefekte im Modul. Zudem entwickeln und charakterisieren wir Schichtsysteme und Laserstrukturen für Solarzellen der nächsten Generation.

Dr. Christian Hagendorf | christian.hagendorf@csp.fraunhofer.de



Zuverlässigkeit von Solarmodulen und Systemen

Wir untersuchen Solarmodule hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit, optimieren sie und entwickeln technologische Prozesse weiter, auch mithilfe mechanischer Finite-Elemente Simulation von Modulen. Wir bieten umfassende, einzigartige Modulcharakterisierungen aus einer Hand.

Dr. Matthias Ebert | matthias.ebert@csp.fraunhofer.de



Siliziumwafer

Um die Ausbeute zu erhöhen, bewerten und entwickeln wir Verfahren zur Herstellung dünner Siliziumwafer und bewerten die Eigenschaften von Wafern und Solarzellen. Wir betrachten die gesamte Prozesskette: von Vereinzeln von Ingots über das Wafersägen bis zur Messung und Sortierung der Wafer sowie der anschließenden Texturierungsprozesse.

Prof. Dr. Stephan Schönfelder | stephan.schoenfelder@csp.fraunhofer.de



Modultechnologie

Wir entwickeln Herstellungsprozesse, neuartige Solarmodule und Materialien vom Labormaßstab bis zur industriellen Größe mit Analytik zu elektrischen Verbindungen, Polymerkomponenten und optischen Eigenschaften sowie mit optischen und elektrischen Simulationen.

Prof. Dr. Jens Schneider | jens.schneider@csp.fraunhofer.de

» Wir untersuchen die Zuverlässigkeit von Materialien und Komponenten von Solarzellen und -modulen, führen Ertragsanalysen von Solarmodulen durch und entwickeln darüber hinaus Verfahren zur Herstellung von Siliziumwafern und Solarmodulen.«



LEITER FRAUNHOFER CSP UND ABTEILUNGSLEITER ZTN

Prof. Dr. Jörg Bagdahn | Telefon +49 345 5589-129 | joerg.bagdahn@csp.fraunhofer.de

Fokus

Das Fraunhofer CSP betreibt angewandte Forschung in den Themengebieten der Siliziumkristallisation, Waferfertigung, Solarzellencharakterisierung und der Modultechnologie. Es entwickelt neue Technologien, Herstellungsprozesse und Produktkonzepte entlang der gesamten photovoltaischen Wertschöpfungskette. Schwerpunkte sind die Zuverlässigkeitsbewertung von Solarzellen und Modulen unter Labor- und Einsatzbedingungen sowie die elektrische, optische, mechanische und mikrostrukturelle Material- und Bauteilcharakterisierung. Basierend auf dem Verständnis von Ausfallmechanismen werden dadurch Messmethoden, Geräte und Fertigungsprozesse für Komponenten und Materialien mit erhöhter Zuverlässigkeit entwickelt.

Bemerkenswertes aus 2015

Erste Elemente des Ende 2014 entwickelten und von fünf externen Auditoren begutachteten Strategiekonzepts wurden erfolgreich umgesetzt, darunter die Stärkung des Themenbereiches Modulzuverlässigkeit und Schadensuntersuchungen, Test- und Geräteentwicklung, Entwicklung von Modulen für extreme Klimate und Sonderanwendungen. Im neuen Themenschwerpunkt »Wasserelektrolyse« wurde in einem Verbund mit fünf Industriepartnern und einer Universität das erste Teilprojekt innerhalb des Vorhabens »HYPOS« gestartet. Dabei wird eine dezentrale Kopplung einer PV-Anlage mit einer Elektrolyseanlage erprobt.

Das Modultechnologiezentrum wurde um einen Tabber-Stringer erweitert, der die Verarbeitung von 4- und 5-Busbarzellen und Halbzellen ermöglicht. Die zum zweiten Mal von uns veranstaltete Fachkonferenz »PV Days« war mit mehr als 150 Teilnehmern aus zwölf Ländern wiederum sehr gut besucht.

Die Kooperation mit der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK Leipzig) konnte durch die erfolgreiche Einrichtung einer Stiftungsprofessur »Mechanik von Werkstoffen der Photovoltaik« gestärkt werden. Auf die ausschließlich industriefinanzierte Stiftungsprofessur an der Fakultät Maschinenbau und Energietechnik wurde Prof. Dr. Jens Schneider berufen, der damit gleichzeitig die BMBF-geförderte Nachwuchsgruppe des InnoProfile-Transfer-Vorhabens »MechSi – Modellierung des mechanischen Verhaltens dünner Siliziumsubstrate und -solarzellen« am Fraunhofer CSP leitet.

ZUVERLÄSSIGE SOLARMODULE FÜR JEDES KLIMA

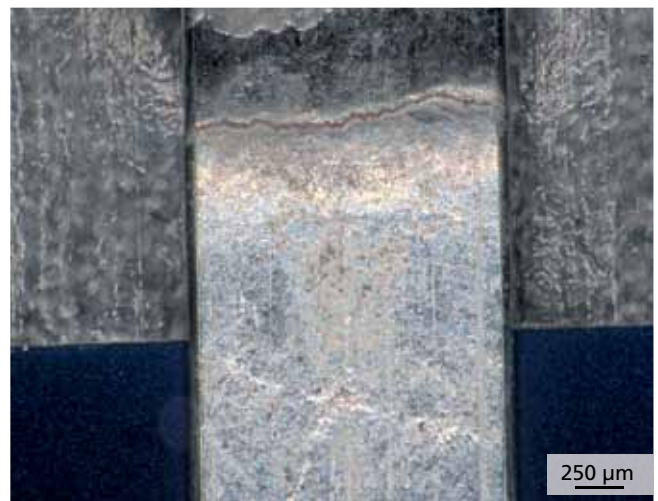
Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP

Prof. Dr. Jörg Bagdahn | Telefon +49 345 5589-5100 | joerg.bagdahn@csp.fraunhofer.de

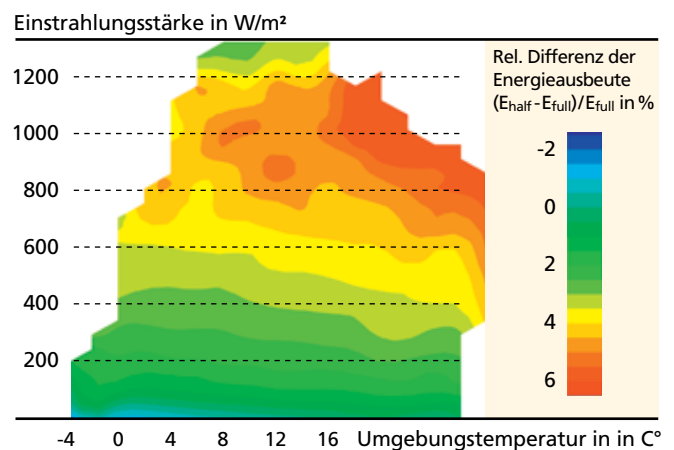
Die Zuverlässigkeit von Solarmodulen ist ein wichtiger Hebel zur Senkung der Kosten von Solarstrom. Die Stromgestehungskosten berechnen sich aus dem Quotienten der Kosten des Systems und der über die Lebensdauer des Moduls erzeugten Energie. Ein besonders zuverlässiges Modul mit einer höheren Lebensdauer erzeugt dabei mehr Energie und senkt die Kosten. Um die Zuverlässigkeit von Solarmodulen zu ermitteln, werden Module beschleunigten Alterungstests zum Beispiel mit erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit unterzogen. Dabei ist ein Vergleich zu Modulen, die sich im normalen Betrieb befinden, wichtig. Bei zu starker Belastung der Module in der beschleunigten Alterung können Ausfallmechanismen induziert werden, die unter realen Witterungsbedingungen keine Rolle spielen. Das Fraunhofer CSP nutzt seine mikrostrukturdiagnostischen Kompetenzen, um Ausfallmechanismen zu verstehen und gezielt Gegenmaßnahmen bei Material- und Technologieauswahl zu ergreifen.

Beschleunigte Alterung und Freiflächentests

Standardisierte Zertifizierungstests zur beschleunigten Alterung von Solarmodulen sind in Normen definiert und befinden sich in ständiger Diskussion. Die aktuell gültige Norm bezieht sich dabei auf eine Belastung in gemäßigten Klimazonen. Jedoch sind die Umwelteinflüsse in verschiedenen Teilen der Erde durchaus sehr unterschiedlich. Belastungen durch Temperatur, Temperaturwechsel, Feuchtigkeit, UV-Strahlung und mechanische Faktoren wie Wind und Schnee sind in verschiedenen Teilen der Erde sehr unterschiedlich. Während Solarmodule in gemäßigten Breitengraden durch Regen gereinigt werden, sind Module in der Wüste Staub und Sand ohne solche Selbstreinigungsmechanismen ausgesetzt. Sandstürme



1 Lichtmikroskopische Aufnahme eines Verbinderberisses zwischen zwei Solarzellen im Modul.



2 Ermittelter Mehrertrag in einer Freiflächenanlage eines neuartigen Halbzellenmoduls im Vergleich zu einem Vollzellenmodul.



*Im Green Energy Park in Ben Guerir (Marokko) werden Module unter extremen klimatischen Bedingungen getestet – in interinstitutioneller Zusammenarbeit zwischen IRESEN (Marokko) und Fraunhofer CSP.
Foto © IRESEN/Green Energy Park.*

führen zur Abrasion an allen Oberflächen. Die erhöhte UV-Einstrahlung in Äquatornähe lässt Polymere verspröden und kann damit zu Ausfällen führen. Am Fraunhofer CSP werden Solarmodule in verschiedenen beschleunigten Alterungstests auf ihre Eignung in unterschiedlichen Klimaten untersucht. Dies wird durch Weiterentwicklung von experimentellen Tests und Simulationen der unterschiedlichen Belastungen unterstützt. Um den Vergleich mit realen Belastungen zu ermöglichen, betreibt das Fraunhofer CSP eigene Outdoor-Tests auf dem Modultestfeld auf dem Dach des Institutsgebäudes sowie im Freifeld. Außerdem bestehen weltweite Kooperationen zur Untersuchungen in anderen Klimazonen, zum Beispiel in Marokko und Singapur.

Mit Mikrostrukturdiagnostik Defektmechanismen verstehen

Beschleunigte Alterungstests sind oft sehr kosten- und zeitaufwändig. Daher ist die Anzahl der Module, die getestet werden, häufig sehr begrenzt. Um trotzdem Ausfallmechanismen und deren Ursache zu verstehen, werden am Fraunhofer CSP die Ausfälle zerstörungsfrei lokalisiert und mithilfe der Mikrostrukturdiagnostik wenn nötig bis auf die atomare Ebene untersucht. Zusammen mit dem Verständnis der optoelektronischen und thermomechanischen Eigenschaften der Solarmodule und ihrer Komponenten können den makroskopischen Ausfällen mikroskopische Ursachen zugeordnet werden. So konnte das Fraunhofer CSP wichtige Beiträge leisten, die zum verbesserten Verständnis von Zell- und Verbinderbruch unter thermomechanischen Lasten (Abbildung 1), Potenzial induzierter Degradation (PID) unter elektrischer Belastung sowie Kontaktfingerverfärbungen («Schnecken Spuren»)

unter Einfluss von Feuchtigkeit und Temperatur beigetragen haben. Mit dem mikrostrukturellen Verständnis ist es möglich, Aussagen zur Zuverlässigkeit von Modulen in jedem Klima zu treffen und entsprechende Anpassungen vorzunehmen.

Mit mikrostrukturbasierter Technologieentwicklung zuverlässige Module herstellen

Die Ergebnisse aus beschleunigter Alterung und Freiflächentest sowie der mikrostrukturellen Diagnostik von Defekten ermöglichen es dem Fraunhofer CSP, die Technologien zur Herstellung von Solarmodulen für jedes Klima zu optimieren. Dabei werden zum Beispiel Polymerkomponenten so ausgewählt, dass sie hohen UV-Bestrahlungen im Sonnengürtel der Erde standhalten. Gläser mit selbstreinigenden Oberflächen und Anti-Abrasionsbeschichtungen werden auf ihre Eignung für den Einsatz in Wüstengebieten hin untersucht. Außerdem wird der Ertrag der Module unter den jeweiligen klimatischen Bedingungen optimiert. Häufige, hohe Einstrahlungen führen zu hohen Strömen im Modul. Die elektrischen Leitungen werden entsprechend angepasst, um Verluste zu minimieren und die Energieausbeute zu maximieren.

Prof. Dr. Jörg Bagdahn, Prof. Dr. Jens Schneider

DEFEKTFREIE HALBZELLEN DURCH OPTIMIERTE LASERPROZESSE

Gruppe

Diagnostik Solarzellen

Dr. Christian Hagendorf | Telefon +49 345 5589-5100 | christian.hagendorf@csp.fraunhofer.de

Eine bedeutende Innovation in der Solarmoduletechnologie ist die Verwendung von halbierten Solarzellen mit modifizierter Verschaltung. Dabei werden die Zellen am Ende des Solarzellprozesses durch einen zusätzlichen Schritt halbiert. Hierdurch kann eine Leistungssteigerung des Moduls erreicht werden, weil die Serienwiderstandsverluste sinken. Allerdings wird die Leistungssteigerung der Module nur erreicht, wenn der Zelltrennprozess die Zelle nicht signifikant in ihren elektrischen und mechanischen Eigenschaften schädigt. Die Gruppe »Diagnostik Solarzellen« begleitet diese Entwicklung durch Optimierung der erforderlichen Laserprozesse, elektrische Simulationen und Verlustanalysen der Halbzellen. In Kooperation mit den Gruppen »Modulzuverlässigkeit« und »Modultechnologie« werden Halbzellmodule entwickelt und hinsichtlich ihrer mechanischen und elektrischen Zuverlässigkeit bewertet.

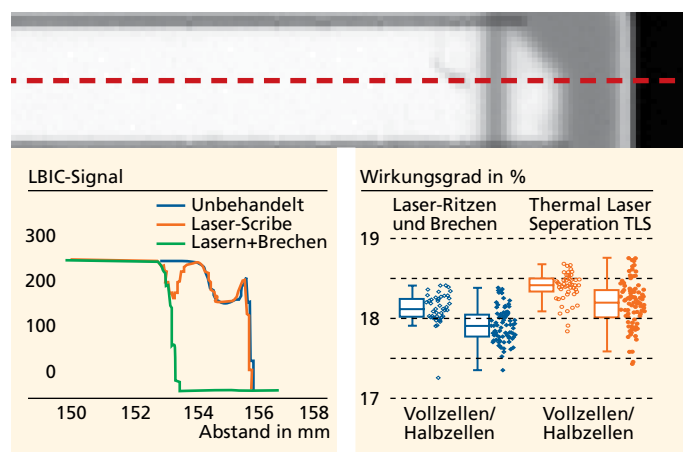
Elektrische Verlustanalyse an Halbzellen

Das etablierte Verfahren zum Halbieren von Solarzellen besteht aus zwei Schritten: 1. Einbringen eines Lasergrabens auf der Zellrückseite als Sollbruchstelle, 2. Teilen der Zellen durch mechanisches Brechen. Die elektrische Bewertung der Halbzellen ermöglicht Rückschlüsse auf Verluste, die durch die Zellhalbierung verursacht werden. Vorrangig ist dabei eine Bewertung der Zelleistung. Zusätzlich erlaubt eine detaillierte Analyse der Verlustströme, zum Beispiel über Kurzschlüsse oder durch Rekombination, eine gezielte Optimierung des Trennprozesses. Darüber hinaus werden bildgebende und scannende Verfahren zur Charakterisierung der Lasergrabenprofile angewendet, siehe Abbildung 1 links. Durch diese systematischen Untersuchungen wurde am Fraunhofer CSP ein optimierter Laser-Zelltrennprozess entwickelt.

Evaluierung von Zelltrenntechnologien

Gegenüber dem etablierten Verfahren stellt das thermische Laserseparieren (TLS) eine vielversprechende Alternative dar. Hierbei werden durch einen Laser kombiniert mit einer Abkühlung thermo-mechanische Spannungen erzeugt, die einen Riss durch die Zelle treiben. Am Fraunhofer CSP wurde gezeigt, dass mit dem TLS-Verfahren Halbzellen mit vergleichbaren elektrischen Eigenschaften erzeugt werden wie mit dem etablierten Verfahren, siehe Abbildung 1 rechts.

Dr. Marko Turek



1 Querschnittsprofil (rot gestrichelte Linie) durch einen Lasergraben mittels LBIC (light beam induced current)-Methode (oben und unten links). Vergleich zweier Zelltrennverfahren: Das thermische Laserseparieren und der Standard-Laserprozess liefern vergleichbare, minimale Einbußen im Zellwirkungsgrad (unten rechts).

SIMULATIONSBASIERTE OPTIMIERUNG VON LÖTPROZESSEN

Gruppe

Zuverlässigkeit von Solarmodulen und Systemen

Dr. Matthias Ebert | Telefon +49 345 5589-5200 | matthias.ebert@csp.fraunhofer.de

Die Verschaltung der Solarzellen in einem kristallinen Solar- modul erfolgt in der Regel mithilfe von Kupferverbindern. Diese sind mit einem Weichlot versehen und werden auf die Silberbusbars der Solarzellen gelötet. Während des Prozesses entstehen durch die thermische Ausdehnung der Einzelmaterialien Spannungen im Silizium der Solarzelle. Diese Spannungen und somit das Bruchrisiko müssen in der Produktion minimiert werden, um eine gute Ausbeute und die nötige Zuverlässigkeit des Moduls zu gewährleisten. Die Gruppe Modulzuverlässigkeit hat Modelle für die numerische Simulation von Lötprozessen in der Photovoltaik entwickelt, um die Temperatur- und Eigenspannungsverteilung zu ermitteln. Diese Modelle ermöglichen Parameterstudien zum Beispiel für Fließspannung oder Geometrie der Verbindner sowie der Prozessführung. Anhand der Ergebnisse können die Lötprozesse in der Fertigung optimiert werden.

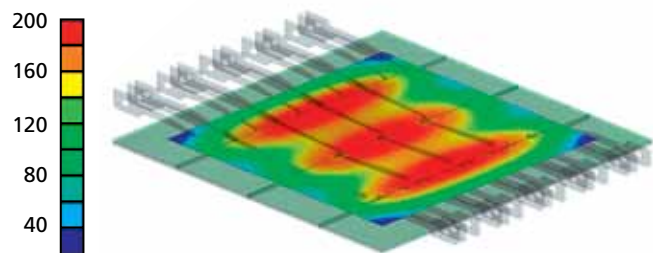
Temperatursimulation

Es wurde eine Finite-Elemente Simulation des Tabber-Stringer-Prozesses für drei Lötprozessvarianten durchgeführt: dem Infrarotlöten sowie dem Induktionslöten mit und ohne Heizplatte. Übereinstimmend mit Messungen zeigte sich in der Simulation die inhomogene Temperaturverteilung über die Solarzelle beim Löten (Abbildung 1 oben). Im Vergleich mit den Varianten des Induktionslöten ist dabei ein wesentlich breiterer Temperaturbereich über die Abkühlzeit erkennbar (Abbildung 1 unten). Die Abkühlung erfolgt bei den Induktionsvarianten relativ schnell, während die eingebrachte Wärme beim Infrarotlöten sehr viel langsamer wieder abgegeben wird.

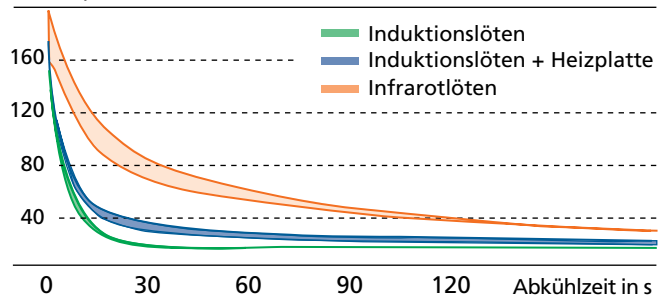
Auf Basis der Temperaturverläufe kann die Ausbildung des Lotgefüges gesteuert werden, sodass möglichst geringe Spannungen in die Zelle eingebracht werden und die Verbindung stabil ist. Die Simulation ist erweiterbar im Hinblick auf veränderte Prozessbedingungen (Heizleistung/-zeit, Lampenpositionierung etc.), alternative Aufbauten sowie Zelllayouts, sodass ein umfassendes virtuelles Prototyping möglich ist.

Matthias Pander, Ulli Zeller

Zelltemperatur in °C



Lottemperatur in °C



1 Zelltemperatur bei Infrarotlöten zum Ende der Aufheizzeit (oben). Lottemperatur mit zunehmender Abkühlzeit der drei untersuchten Lötmodelle (unten).

HERSTELLUNG UND CHARAKTERISIERUNG DIAMANTDRAHTGESÄGTER WAFER

Gruppe
Siliziumwafer

Prof. Dr. Stephan Schönfelder | Telefon +49 345 5589-5310 | stephan.schoenfelder@csp.fraunhofer.de

Siliziumwafer für die Photovoltaik werden konventionell mit glattem Stahldraht und Abrasivpartikeln in einer Slurry gesägt. Das Sägen mit diamantbesetztem Draht bietet im Vergleich dazu ein großes Potenzial für Kostenersparnis: Der Schnitvorschub ist höher, damit sind die Prozesszeiten kürzer. Die größten Herausforderungen bestehen dabei in der veränderten Schädigung im Wafer und dem Sägen von multikristallinem Material. Diesen geht die Gruppe »Siliziumwafer« in der eigenen Pilotlinie zum Drahtsägen und mittels mikrostruktureller Charakterisierung des gesägten Substrates nach.

Instrumentierte Sägeversuche

In einem instrumentierten Sägeversuch können Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie die am Brick herrschenden Kräfte in alle drei Raumrichtungen über die gesamte Prozesszeit aufgezeichnet werden. Wie in Abbildung 1 oben dargestellt, kann so zum Beispiel für verschiedene Kühlschmiermittel das »Reibverhalten« als Maß des Sägewiderstands während des Sägens bewertet werden. Mit mikrostrukturellen Charakterisierungen der Siliziumwafer wird danach die Waferqualität überprüft und mit dem verwendeten Kühlschmiermittel in Beziehung gesetzt.

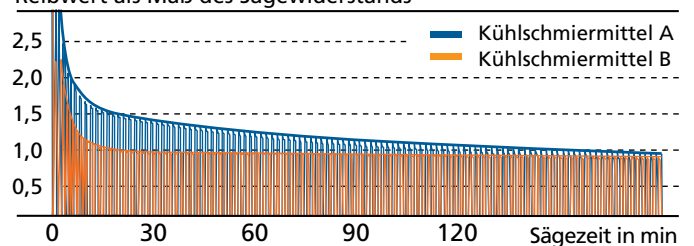
Einfluss der Texturierung auf die Festigkeit

Die Festigkeit der Wafer wird durch die im Sägeprozess eingebrachten Risse auf der Oberfläche definiert. Mithilfe des 4-Punkt-Biegeversuches wurde ermittelt, dass die diamantdrahtgesägten Wafer besonders bei der Belastung längs zu den Sägeriefen eine stark verringerte Festigkeit gegenüber slurrygesägten Wafern aufweisen. In Abbildung 1 unten ist dies anhand der charakteristischen Bruchspannung zu sehen,

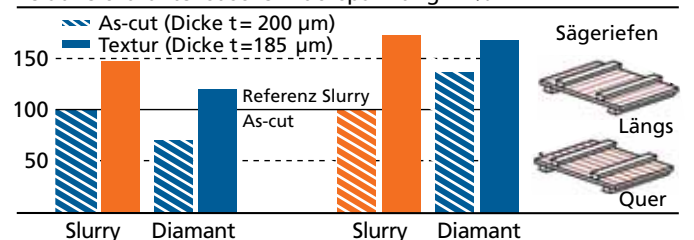
welche die Spannung angibt, bei der 63,2 Prozent aller Proben im Experiment brechen. Im Texturierungsprozess werden die Wafer nasschemisch geätzt und es ändert sich die Oberflächenstruktur und somit die Festigkeit. Weichen die diamantdrahtgesägten Wafer vor der Textur noch um 33 Prozent von den slurrygesägten Wafern ab, so verringert sich der Unterschied nach der Textur auf 20 Prozent. Das stark anisotrope Festigkeitsverhalten der diamantdrahtgesägten Wafer bleibt jedoch auch nach der Textur erhalten.

Felix Kaule, Ringo Köpge

Reibwert als Maß des Sägewiderstands



Relative charakteristische Bruchspannung in %



1 Vergleich der Schmiereigenschaften zweier Kühlschmiermittel durch die Bestimmung des Reibwerts während des Sägeprozesses (oben). Beispiel für Festigkeiten von Slurry/Diamant-gesägten monokristallinen Si-Wafern vor/nach der Textur in der 4-Punkt-Biegung (unten).

ZUVERLÄSSIGE TECHNOLOGIEN FÜR GEWÖLBTE SOLARMODULE

Gruppe
Modultechnologie

Prof. Dr. Jens Schneider | Telefon +49 345 5589-5500 | jens.schneider@csp.fraunhofer.de

Zur Erschließung neuer Einsatzgebiete müssen Solarmodule neben der Stromerzeugung und möglichst geringen Kosten in Cent/kWh weitere Eigenschaften erfüllen: In mobilen Anwendungen sowohl im Fahrzeugbau als auch im Freizeitbereich müssen Solarmodule leicht sein. Ein wichtiges Kriterium ist die Leistung pro Masse in W/kg. In der Gebäudeintegration sollten Solarmodule zudem ästhetische Ansprüche von Architekten und Bauherren erfüllen, mit entsprechenden Anforderungen an Farb- und Formwahl für flexible Gestaltungsmöglichkeiten. Gewölbte Solarmodule sind für diese Anwendungsgebiete gut geeignet. Um sie mit der nötigen Zuverlässigkeit herzustellen, müssen allerdings besondere Maßnahmen bei der mechanischen und elektrischen Auslegung getroffen werden.

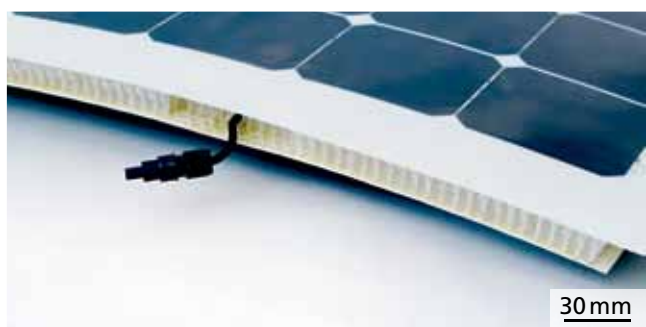
Mechanische Auslegung – Sandwich

Bei der Integration von Photovoltaik in Gebäude, Überdachungen oder Fahrzeuge ist höchste mechanische Stabilität der Solarmodule eine absolute Notwendigkeit. Im Gegensatz dazu gelten aber meist Gewichtsrestriktionen, die mit klassischen Glas/Glas-Modulen, wie sie vorrangig in der Gebäudeintegration eingesetzt werden, nicht eingehalten werden können. Die mechanische Auslegung von Sandwich-Verbunden als Träger für gewölbte Solarmodule und die gezielte Materialauswahl für die Prozesse der Solarzellverkapselung sind Herausforderungen, die in der Gruppe Modultechnologie bearbeitet werden. Der Einsatz von Wabenkernen, Verrippungen und Verbundstrukturen führt zu neuartigen Modulkonzepten mit herausragendem Steifigkeits-Gewichts-Verhältnis und integrierten Befestigungs- und Anchlusselementen (Abbildung 1).

Elektrische Auslegung – Verschaltung

In Solarmodulen, die inhomogen beleuchtet werden, richtet sich die elektrische Leistung im günstigen Fall nach der am geringsten beleuchteten Zelle. Im ungünstigen Fall kann das Modul Schaden nehmen und dauerhaft Leistung verlieren oder sogar zerstört werden. Inhomogene Beleuchtung kann durch Schattenwurf oder Verunreinigungen auftreten und ist im Fall von gewölbten Solarmodulen immer gegeben, da die Zellen in unterschiedlichen Winkeln zur Sonne ausgerichtet sind. Durch optimierte elektrische Verschaltung der Zellen im Modul mit passiven und aktiven Bauelementen kann der Leistungsverlust minimiert und Schaden verhindert werden. In der Gruppe Modultechnologie werden Solarmodule für jeden Anwendungsfall simuliert und optimiert. Die Module können in Größen bis 2,2 x 2,6 Meter hergestellt und getestet werden. Die Verschaltung wird dabei jeweils auf Form und Einsatz optimiert.

Christian Ehrich



1 Gewölbtes Leichtbaumodul auf Basis von faserverstärkten Kunststoffen mit thermoplastischem Wabenkern.

FRAUNHOFER-ANWENDUNGSZENTRUM FÜR ANORGANISCHE LEUCHTSTOFFE

LEITER

Prof. Dr. Stefan Schweizer | Telefon +49 2921 378-410 | stefan.schweizer@imws.fraunhofer.de

Fokus

Das Fraunhofer-Anwendungszentrum AWZ für Anorganische Leuchtstoffe arbeitet an der Charakterisierung und Entwicklung von Leuchtstoffen und Leuchtstoffsystemen, speziell auf den Gebieten der Leuchtstoffeffizienz, Zuverlässigkeit und Farbstabilität. Im Fokus stehen dabei umfassende optische und spektroskopische Analysen, thermische und mikrostrukturelle Charakterisierung sowie Untersuchungen zur Langzeitstabilität von Leuchtdioden und Beleuchtungselementen.

Bemerkenswertes aus 2015

In Zusammenarbeit mit der IHK Arnsberg, Hellweg-Sauerland veranstaltete das Fraunhofer-Anwendungszentrum für Anorganische Leuchtstoffe im Rahmen eines IHK-Technologietages eine Vortragsreihe zum Thema »LEDs und deren zukünftige Anforderungen«. Die Veranstaltung bot der regionalen Industrie Einblick in die Entwicklung des Themenfeldes sowie den aktiven Austausch zu aktuellen Ansätzen des Anwendungszentrums.

Prof. Dr. Stefan Schweizer betreute als Gasteditor eine Sonderausgabe der international renommierten Zeitschrift »Advanced Optical Materials«. Diverse Beiträge internationaler Experten, die vom Fraunhofer AWZ und dem Fraunhofer IMWS für die Sonderausgabe »Optical Materials for Spectral Management« ausgewählt wurden, stellen unter anderem neue Ideen für Weißlicht-LEDs vor. Der Sonderband fasst aussichtsreiche Forschungsansätze und eine Bewertung ihrer Potenziale für modernes Lichtmanagement zusammen. Insbesondere die Effizienz von LED-Leuchtstoffen kann materialwissenschaftlich noch verbessert werden und so einer energieeffizienten Beleuchtung den Weg ebnen.

Mit der Fertigstellung eines Neubaus der Fachhochschule Südwestfalen im Herbst 2015 konnten dem AWZ weitere Räumlichkeiten für Labore und Büros zur Verfügung gestellt werden. Die feierliche Eröffnung des Gebäudes fand am 25. November 2015 statt.



»Die durch die Lichtumwandlung entstehende Wärmeentwicklung innerhalb des Leuchtstoffes ist eine zusätzliche Herausforderung für Weißlicht-LEDs. Dies ist ein meist nicht beachteter Aspekt. Glasbasierte Leuchtstoffe zeigen eine gegenüber konventionellen Materialien verbesserte thermische Stabilität und stellen somit eine vielversprechende Alternative dar.«

ENTWICKLUNG VON TEMPERATURSTABILEN LEUCHTSTOFFEN FÜR WEISSE LEDS

Leuchtdioden (LEDs) gehört die Zukunft in der Beleuchtungstechnik. Moderne Hochleistungs-LEDs bieten gegenüber konventionellen Glüh- und Energiesparlampen Vorteile im Hinblick auf Effizienz, Kompaktheit, Lebensdauer und Umweltschutz. Bei einem Teil der kommerziell erhältlichen weißen LEDs tritt durch von hohen Betriebsströmen generierte Wärme jedoch eine schrittweise Schädigung des Leuchtstoffs auf.

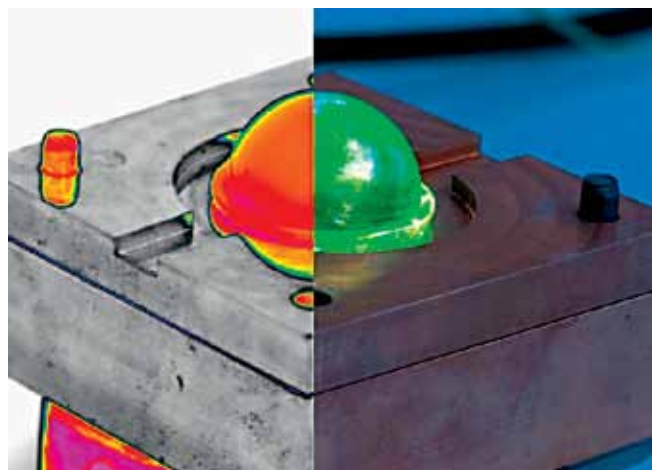
Leuchtstoffe auf Basis mit Seltenen Erden dotierter Gläser sollen die Lebensdauer von weißen Leuchtdioden erhöhen und einen langzeitstabilen Farbeindruck sicherstellen. Diese lumineszierenden Gläser zeichnen sich durch eine erhöhte chemische und thermische Widerstandsfähigkeit aus. Um Weißlicht-LEDs weiter zu optimieren, ist die richtige Kombination von LED und Leuchtstoff entscheidend. Vor allem Terbium und Europium eignen sich sehr gut für einen Einsatz in der Beleuchtungstechnik. Beide weisen unter ultravioletter oder Blaulichtanregung eine intensive Emission im grünen (Tb) beziehungsweise im roten (Eu) Spektralbereich auf. In richtiger Kombination einer LED lässt sich so ein weißer Lichteindruck einstellen. Auch bei hohen Temperaturen von 150 °C, die im Betrieb einer LED auftreten, tritt eine intensive Emission auf. Abbildung 1 zeigt dies am Beispiel eines Tb³⁺-dotierten Glases unter UV-Anregung. Die thermische Stabilität der am Anwendungszentrum entwickelten glasbasierten Leuchtstoffe liegt oberhalb der des konventionellen gelben Leuchtstoffs von Weißlicht-LEDs, Ce:YAG.

Thermografie an Leuchtstoffen

Ein oft nicht beachteter Aspekt der Temperaturbelastung von LED-Leuchtstoffen ist die Wärmeentwicklung innerhalb des

Leuchtstoffs selbst. Beim Lichtkonversionsprozess wird blaues energiereiches Licht der primären LED in energieärmeres (zum Beispiel gelbes) Licht umgewandelt. Die sich daraus ergebende Energiedifferenz (Stokes-Shift) wandelt sich in Wärme um. Die Wärmeleistung bei der Umwandlung von blauem (450 nm) zu gelbem (570 nm) Licht beträgt mehr als 20 Prozent der eingestrahnten Lichtleistung. Die Erwärmung der Leuchtstoffoberfläche kann orts- und zeitaufgelöst mit einer Infrarotkamera aufgenommen werden (Abbildung 1). Aus der Wärmeleistungsdichte im Glas lässt sich anhand von Thermografieaufnahmen die im Glas freigesetzte Gesamtwärmeleistung berechnen.

Dr. Franziska Steudel, Peter Nolte



1 Thermografieaufnahme (links) und Fotografie unter UV-Anregung (rechts) einer Tb³⁺-dotierten Glaskuppel (Durchmesser 30 mm) bei 150 °C.

VERNETZUNG DES FRAUNHOFER IMWS

Fraunhofer-Verbund, -Allianzen und herausragende Projekte

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

Fraunhofer-Materialforschung umfasst die gesamte Kette von der Entwicklung und Verbesserung von Materialien über die Herstelltechnologie und Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und deren Verhalten in Systemen. Neben den experimentellen Untersuchungen werden die Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung gleichrangig eingesetzt.

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

www.materials.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie

Von der anwendungsorientierten Forschung bis zur industriellen Umsetzung werden Nanotechnologien für optische Anwendungen, den Automobilbau und die Elektroindustrie entwickelt. Multifunktionale Schichten, metallische und oxidische Nanopartikel, Kohlenstoff-Nanoröhren und Nanokomposite werden in Aktuatoren, strukturellen Werkstoffen und biomedizinischen Anwendungen eingesetzt. Darüber hinaus werden Fragen zur Toxizität und dem sicheren Umgang mit Nanopartikeln behandelt.

Prof. Dr. Andreas Heilmann

www.nano.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Batterien

Die Fraunhofer-Allianz Batterien entwickelt rund um das Thema elektrochemische Energiespeicher (Batterien, Superkondensatoren) technische und konzeptionelle Lösungen. Die Kompetenzen der Allianz umfassen dabei die Felder Material, System, Simulation und Testung.

Dr. Nadine Menzel

www.batterien.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Bau

Ziel der Fraunhofer-Allianz Bau ist es, alle wissenschaftlichen und forschungsrelevanten Fragen zum Thema Bau vollständig und »aus einer Hand« innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft abbilden und bearbeiten zu können. Der Baubranche steht so ein zentraler Ansprechpartner für integrale Systemlösungen zur Verfügung.

Andreas Kromholz

www.bau.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Energie

Zehn Fraunhofer-Institute bieten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus einer Hand an. Die Schwerpunkte liegen bei Effizienztechnologien, erneuerbaren Energien, Gebäuden und Komponenten, Planung und Betriebsführung integrierter Energiesysteme sowie Speicherung und Mikroenergie-technik.

Prof. Dr. Jörg Bagdahn

www.energie.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Leichtbau

Die Qualität einer Leichtbaustruktur ist wesentlich bestimmt durch ihre Werkstoffeigenschaften, die konstruktive Formgebung, ihre Bauweise und den Herstellungsprozess. Daher wird in der Allianz Leichtbau die gesamte Entwicklungskette von der Werkstoff- und Produktentwicklung über Serienfertigung und Zulassung bis hin zum Produkteinsatz betrachtet.

Prof. Dr. Peter Michel

www.fraunhofer.de/de/institute-einrichtungen/verbuende-allianzen/Leichtbau.html

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen

In dieser Fraunhofer-Allianz bündeln 18 Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen, die sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Simulationsverfahren beschäftigen. Insbesondere die Bündelung der Kompetenzen aus dem IuK-Bereich mit dem Werkstoff- und Bauteil-Know-how sowie mit der Oberflächen- und Produktionstechnik verspricht innovative Ergebnisse.

Dr. Matthias Ebert

www.simulation.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz »Textil« (im Aufbau)

Um das Potenzial von Hochleistungsfasern für textilverstärkte Leichtbaustrukturen voll auszuschöpfen, sollen Innovationen durch anwendungsnahe und produktspezifische Entwicklungen von textilbasierten Technologien und Anlagensystemen in direkter Verknüpfung mit der Preform- und Bauteilfertigung hervorgebracht werden. Die gesamte textile Fertigungskette wird dazu ausgehend von der Faserherstellung und -funktionalisierung in der Allianz abgebildet.

Prof. Dr. Peter Michel

Fraunhofer-Leitprojekt Kritikalität Seltener Erden

Fraunhofer-Institute entwickeln effizientere Herstellungsprozesse für Hochleistungsmagnete, optimieren deren Bauteilauslegung und erforschen Recyclingmöglichkeiten. Ziel ist es, den Primärbedarf an schweren Seltenerd-Elementen bei zwei Demonstrator-Permanentmagneten zu halbieren. Das Fraunhofer IMWS sucht Substitutionsmagnetmaterialien möglichst ohne Seltenerd-Elemente mit elektronentheoretischer Materialsimulation und elektronenmikroskopischer Materialcharakterisierung.

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn (Koordinator)

www.seltene-erden.fraunhofer.de

Max-Planck – Fraunhofer Kooperationsprojekt HEUSLER

Das Fraunhofer IMWS erforscht gemeinsam mit zwei Max-Planck-Instituten in Dresden und Halle, welche strukturellen und chemischen Möglichkeiten es gibt, um auf der Basis von intermetallischen Heusler-Phasen neuartige Materialien zu erzeugen, die gute hartmagnetische Eigenschaften haben, aber keine Seltenerd-Elemente enthalten.

Prof. Dr. Thomas Höche | www.fraunhofer.de/de/institute-einrichtungen/kooperationen/max-planck-kooperationen.html

VERNETZUNG DES FRAUNHOFER IMWS

Aktivitäten in Sonderforschungsbereichen, Fraunhofer-internen Programmen und Spitzenclustern

Hochtemperatur-Mikrosysteme – Zuverlässige Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikroelektronik und Mikrosysteme bis 300 °C Betriebstemperatur (HOT-300), MAVO

Da elektronische Systeme und Komponenten immer härteren Anforderungen genügen müssen, liegt das Ziel in einer deutlichen Erhöhung der zulässigen Betriebstemperaturen bis 300 °C. Dafür werden Entwicklungen in Kombination von Halbleitertechnologie, Aufbau- und Verbindungstechnik, keramischer Materialentwicklung, Werkstoffanalytik und Bereitstellung einer verlässlichen Zuverlässigkeitsmodellierung vorangetrieben.

Prof. Dr. Matthias Petzold

Biomimetischer Synthesekautschuk in innovativen Elastomerkompositen (BISYKA), MAVO

Gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IAP, IME und ISC erforscht das Fraunhofer IMWS die Ursachen für die einzigartigen mechanischen Eigenschaften des Naturkautschuks und deren Übertragung auf Synthesekautschuk, um mit einem »biomimetischen Synthesekautschuk« als Resultat ein innovatives Produkt mit hohem Wertschöpfungspotenzial hervorzubringen.

Prof. Dr. Mario Beiner

Sonderforschungsbereich Polymere unter Zwangsbedingungen

In diesem von der DFG seit 2011 geförderten Verbundprojekt forscht das Fraunhofer IMWS gemeinsam mit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und der Universität Leipzig an grundlegenden Fragestellungen im Bereich der Struktur und Dynamik weicher Materie. Schwerpunktmäßig wird der Einfluss von Zwangsbedingungen auf Strukturbildungsprozesse in synthetischen und biologischen Polymersystemen und Kompositen untersucht.

Prof. Dr. Mario Beiner

www.natfak2.uni-halle.de/sfbtrr102

Innovationscluster Kunststoffe und Kunststofftechnologie für die Solarindustrie

Die Fraunhofer-Einrichtungen IMWS, IAP, CSP und PAZ arbeiten im Fraunhofer-Innovationscluster Kunststoffe und Kunststofftechnologien für die Solarindustrie, kurz »SolarKunststoffe«, gemeinsam mit Unternehmen aus der Solar- und Kunststoffindustrie in Mitteldeutschland an der Entwicklung und Umsetzung innovativer Produkte, um sich einen entscheidenden Technologievorsprung im internationalen Wettbewerb zu verschaffen. Neue Kunststofflösungen sind zunehmend ein Schlüsselement für wettbewerbsfähige Photovoltaiklösungen und eröffnen gleichzeitig der in Mitteldeutschland etablierten chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie neue Märkte. Die Verbindung von Polymersynthese, -verarbeitung und -charakterisierung mit der Solarmodultechnologie ist ein aussichtsreicher Ansatz für die Entwicklung neuer, anwendungsspezifischer Lösungen und ein Alleinstellungsmerkmal des Clusters.

Dr. Michael Busch (Koordinator)

www.solarkunststoffe.de

Spitzencluster BioEconomy

Das Cluster verbindet die für die Bioökonomie relevanten Forschungs- und Industriebereiche in Mitteldeutschland mit dem Ziel, die Entwicklung, Skalierung und Anwendung von innovativen technischen Prozessen voranzutreiben. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der nachhaltigen stofflichen Nutzung biobasierter, nachwachsender Rohstoffe aus dem Non-Food-Bereich (insbesondere von Holz) sowie auf der Herstellung werthaltiger Produkte für verschiedene Industriebereiche, verbunden mit der energetischen Nutzung von Reststoffen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg.

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn (Stellv. Vorsitzender),

Andreas Kromholz (Themengebietsleiter Biokunststoffe)

www.bioeconomy.de

Spitzencluster SolarValley Mitteldeutschland

Im Zentrum der Arbeit des Clusters steht das Ziel, Solarstrom wettbewerbsfähig zu machen. Dies gelingt in der Umsetzung eines Strategiekonzepts, in dem Wirtschaft, Wissenschaft und Bildung eng verzahnt zusammenarbeiten, um Strom für Generationen erneuerbar und dezentral bereitzustellen. Dabei soll die Photovoltaik als bedeutendste Energietechnologie dieses Jahrhunderts etabliert werden.

Prof. Dr. Jörg Bagdahn (Stellv. Vorsitzender)

www.solarvalley.org

HYPOS

Mit dem Projekt HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany soll »grüner« Wasserstoff aus erneuerbarem Strom im großtechnischen Maßstab für energietechnische Anwendungen hergestellt werden – als effizienter Energieträger mit hervorragender Transport- und Speicherfähigkeit. Das HYPOS-Projekt wird im Rahmen des Programms »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn (Stellv. Vorsitzender),

Prof. Dr. Jörg Bagdahn (Themenfeldleiter Stromerzeugung)

www.hypos-eastgermany.de

Ausstattung der Kernkompetenz Mikrostrukturdiagnostik

Ionen-/Elektronenmikroskopie

- Transmissionselektronenmikroskop (TEM 200 kV) mit Röntgenanalysesystem (Nanospot-EDX)
- EM/STEM Transmissionselektronenmikroskop (200 kV)
- EF-TEM Transmissionselektronenmikroskop (60-300 kV) mit Cs-Bildkorrektur, EDS, EELS, HAADF, STEM, NBD und in situ-Test
- Einstrahl-Fokussierende Ionenstrahlanlage (FIB) mit integriertem IR-Mikroskop
- Zweistrahl-FIB-Anlage mit in situ-Manipulator
- Zweistrahl-FIB-Anlage mit EBSD- und EDX-Analytik
- Plasma-FIB-Anlage-Rasterelektronenmikroskope (REM) mit Röntgenanalyse (EDX,WDX) und Beugungsanalyse (EBSD)
- REM mit elektronenstrahlinduzierter Strommessung (EBIC) und Nadel-Manipulatorsystem
- Atmosphärisches REM (ESEM) mit in situ-Zugmodul und in situ-Heizmodul
- Kombinierte ESEM-FIB-Anlage mit Kryo-Transferkammer und in situ-Kryo-Präparationseinrichtungen
- Präparationstechniken: Präzisionsdrahtsägen, diverse Schleif-/Poliermaschinen Präzisionsschleifanlagen für die Zielpräparation, Ar-Ionenätzenanlagen, Plasma-Cleaner, C-Bedampfung und Platin Sputter-Coating
- Softmatter-Präparation mit Rotationsmikrotom, Ultramikrotom, Kryo-Ultramikrotom, Kritisch-Punkt-Trocknung sowie Kryofixierung

Röntgenografische und akustische Verfahren

- 3D-Röntgen-CT-Inspektionsanlagen (185 kV Nanofokus, 225 kV Mikrofokus) mit in situ-Verformungseinrichtungen
- Röntgendiffraktometer für Spannungsmessung, Textur- und Phasenanalyse mit Hochtemperatureinrichtung bis 2 300 K und Dünnschichtanalyseeinrichtung
- Luftgekoppelter Ultraschall (Scanfläche 1 500 x 1 000 mm²)
- Akustische Rasterelektronenmikroskopie (MHz bis GHz)

Physikalisch und chemische Oberflächenanalytik

- Time-of-Flight-Sekundärionen-Massenspektroskopie (ToF-SIMS)
- Photoelektronenspektroskopie mit Abtragsmodus, Tiefenprofil (XPS, UPS) sowie Auger-Elektronenspektroskopie (AES)
- Tiefenprofil-Glimmentladungsspektrometer (GDOES)
- Kontaktwinkelmessung
- Plasmaanalytiksystem (OES, VI-Probe, SEERS)

Topografie- und Konturmessung

- Rasterkraftmikroskope (AFM) in Kombination mit Licht- und Fluoreszenzmikroskopie
- Weißlichtinterferometer
- Konfokal-Laserscanningmikroskope (CLSM)

- Profilometer und Rauheitsmesseinrichtungen
- Interferometrische Eigenspannungsmessung
- Bestimmung Wafergeometrie (Dicke, Dickenvariation, etc.)
- Interferometer mit Phasenschieber für Konturmessung von Asphären

Lichtoptische und spektrometrische Verfahren IR-UV

- Lichtmikroskope, Dunkelfeld- und DIK-Modus
- Quantitative Bildanalysesysteme
- UV/VIS/NIR-Spektrometer und Spektralellipsometer
- Elektrolumineszenz- und Photolumineszenz-Spektroskopie
- Infrarot-Mikroskopie
- FTIR-Spektroskopie und -Mikroskopie mit ATR-Messzellen
- Konfokales Ramanmikroskop und Raman-Spektrometer
- IR-Spannungsoptik-Messungen
- Verfahren zur Messung der Ladungsträgerlebensdauer (Mikrowellen-Photoconductance-Decay, quasistatische Photoleitfähigkeit)
- Farbanalysator
- Zeitaufgelöste Fluoreszenz und ortsaufgelöste Elektrolumineszenz im UV-VIS-NIR-Bereich
- Nano- und Femtosekunden-Lasersysteme
- Photolumineszenz-Messplatz zur ortsaufgelösten Charakterisierung von Si-Blöcken, Wafer und Zelle

Elektrische Charakterisierung

- Messplätze zur Ladungsträgerlebensdauerermessung (Si-Block, Wafer)
- 4-Punkt-Methode und Wirbelstrommethode zur Leitfähigkeitsmessung
- Elektrolumineszenz-Messplatz zur Zellen-Charakterisierung
- Messplatz zur Bestimmung der internen und externen Quanteneffizienz von Zellen
- Sonnensimulator für Solarzellen

Thermophysikalische Messverfahren

- Dynamische Differentialkalorimetrie bis 1 500 °C
- Thermogravimetrische Analyse (TGA)
- Differential-Thermoanalyse
- Dilatometer für Messungen bis 1 400 °C
- Lock-in-Thermographie mit elektrischer und optischer Anregung
- Klimaprüfkammern

Material- und Spurenanalyse

- Massenspektroskopie mit induktions-gekoppeltem Plasma (ICP-MS) mit Laserablation, chemische Extraktion und elektrothermische Vaporisation
- Wasserstoffanalysator inkl. Auslagerungssofen
- Stickstoff- und Sauerstoffanalysator
- Dichte- und Porositätsmesseinrichtungen
- Restgasanalysator
- Gaspermeationsmessgerät

Polymeranalytik

- Dynamische Differentialkalorimetrie (DSC)
- Dynamisch-Mechanische Analyse (DMA)
- Thermomechanische Analyse (TMA)
- Hochdruckkapillarviskosimeter
- Schmelzindexmessgeräte (MFI)
- HDT-Wärmeformbeständigkeits- und Vicat-Erweichungstemperaturmessung
- Dielektrische Analyse (DEA)
- TGA mit FT/IR-Kopplung
- Karl-Fischer-Titration zur Feuchtebestimmung in Kunststoffen
- Licht-Klimaprüfschrank und Klimaprüfschrank
- Rotationsrheometer
- Temperatur- und Wärmeleitfähigkeitsmessung (Light-Flash-Methode) bis 300 °C
- Soxhlet-Extraktor

Prüfung von Mikrokomponenten

- In situ-Verformungseinrichtungen für Raster- und Transmissions-Elektronenmikroskope
- Pull- und Schertester für die mikroelektronische Verbindungstechnik
- Mikrooptischer Kraftmessplatz mit Manipulationseinrichtungen
- Mikrosystem-Analysator (MSA) zur berührungslosen Verformungs- und Vibrationsanalyse
- Versuchsstände zur Festigkeits- und Lebensdauerermessung von Mikrosystemen

Ausstattung der Kernkompetenz Mikrostrukturdesign

Oberflächen- und Grenzflächentechnologien

- Mehrkammerbeschichtungsanlage für Multilagen- und Compositbeschichtungen
- Plasma-CVD-Beschichtungsanlagen
- Hochfrequenz-Magnetron-Beschichtungsanlagen
- Coronabehandlungsanlagen für Polymerfolien
- Plasmaätzenanlagen
- Nasschemische Beschichtungsanlagen (Spin-Coating, Raketbeschichtung, Tauchbeschichtung)
- Elektrostatische Spinneinrichtung
- Ionenätzenanlage zur Probenpräparation und Oberflächenbearbeitung
- Waferbondanlage mit Plasmaaktivierung
- Drahtbondtechnik zur Kontaktierung von mikroelektronischen Bauelementen
- Anlage zum Laserschweißen von Polymerfolien

Waferfertigung

- Draht- und Bandsägen zum Squaren, Croppen
- Schleifmaschinen zur Oberflächen- und Fasenbearbeitung von Blöcken

- IR-Durchleuchtungssystem zur Identifizierung von SiC/SiN-Einschlüssen in Blöcken
- Drahtsägen für multi- und monokristalline Wafer (slurrybasiertes Sägen, Diamantdrahtsägen)
- Vorreinigungsanlage zum Ablösen der Wafer nach Sägen
- Inline-Feinreinigungsanlage zur Endreinigung der Wafer
- Inline-Messanlage mit Sortiereinheit zur Waferendkontrolle und Klassifizierung

Solarmodulfertigung

- 3D-Vakuumlaminator
- Automatisches Dispenssystem für Leitkleber
- Variable Zellstring-Layup-Station
- Halbautomatische Zellverlötungsanlage
- Laborglasreinigungsautomat
- Labor- und Großmodullaminator
- Präzisionsprüfmaschinen für Verbindungs- und Lotmaterial
- RTP-Ofen
- Siebdrucker
- Thermoschockprüfschrank
- Universalprüfmaschinen von 1N bis 400kN, uni- und multiaxial
- UV-Vernetzungseinheit
- Vakuumlaminator
- Tension / Torsion-Prüfmaschine 10 kN

Polymerverarbeitung

- Minicompounder mit konischen Doppelschnecken
- Messknetzer mit 60 bzw. 300 ml Kammervolumen für Thermoplast- und Elastomerverarbeitung, Drehmoment bis 300 Nm, elektrisch und flüssig temperiert
- Minispritzgussanlage
- Injection Molding Compounder KM 1 300 bis 14 000 IMC, Schließkraft 1 300 Tonnen, max. Schussgewicht 5 300 g (PS)
- Injection Molding Compounder KM 3 200 bis 24 500 MX IMC, Schließkraft 3 200 Tonnen, max. Schussgewicht 20 000 g (PS)
- Spritzgießmaschine KM 200 bis 1000 C2, Schließkraft 200 Tonnen, max. Schussgewicht 476 g (PS), Werkzeug-Temperatur bis 140 °C, separate zweite Spritzeinheit SP 160, vertikal, max. Schussgewicht 68 g (PS)
- Vollautomatisierte Verarbeitungszelle mit Infrarot-Heizstation für die Verarbeitung von kontinuierlich-faserverstärkten Thermoplasten im Hybridspritzguss
- Parallele, gleichlaufende, frei konfigurierbare Doppelschneckenextruder vom Labor- bis in den Pilotmaßstab (5 bis 400 kg/h), austragsseitig mit Strang-, Unterwassergranulierung sowie Heißabschlag ausgerüstet
- Einschneckenextruder
- Downstream-Equipment für Profilextrusion
- Polyurethan-Anlage für Clear-Coat-Molding im Pilotmaßstab

- Faserschneide, Stapellängen 1,5 bis 98 mm
- Trockenlufttrockner, Trocknungstemperatur-Einstellung bis 160 °C
- Polymer-Pulvermühle, Shredderanlage
- Laminat-Pressen (400 x 400 mm), temperierbar bis 400 °C
- Doppelbandpresse (Breite 1000 mm) temperierbar bis 250 °C
- Pulverstreuer für Kunststoffmahlgut
- Roving-Abspulgatter
- Faserspreizsystem statisch und dynamisch

PERSONEN, AUSBILDUNG, EREIGNISSE AM FRAUNHOFER IMWS

Preise und Ehrungen

Best Paper Award ESREF 2014 for paper exchange with ISTFA 2015 an Michél Simon-Najasek, Frank Altmann, Susanne Hübner und Andreas Graff für »Advanced FIB sample preparation techniques for high resolution TEM investigations of HEMT device structures«
02.10.14, Berlin

Best Paper Award der imaps-Deutschland Herbsttagung an Falk Naumann für »Mechanische und mikrostrukturelle Bewertung von Halbleiterbauelementen mit Oberflächendefekten«
24.10.14, München

Outstanding Paper at 40th International Symposium for Testing and Failure Analysis 2014 an Frank Altmann, Jörg Jatzkowski und Michél Simon-Najasek für »Localization of weak points in thin dielectric layers by electron beam absorbed current (EBAC) imaging«
13.11.14, Houston, Texas, USA

Rehau-Preis Technik 2014, Kategorie Dissertation an Ralf Schlimper für »Verformungs- und Versagensverhalten geschlossenzelliger Polymerhartschaumstoffe«
02.12.14, Rehau

Hugo-Junkers-Preis 2014, Sonderpreis Ressourceneffizienz an Ralf Schlimper für »Lagerfähiges Prepreg PD-120 EPO«
15.12.14, Magdeburg

Hugo-Junkers-Preis 2014, 2. Platz Kategorie Innovativste Allianz an Andreas Heilmann, Maik Rudolph, Annika Thormann, Stefan Schwan für »Innovative Zusammenarbeit im Bereich Medizintechnik – Neue Implantate für die Mittelgesichtsrekonstruktion«
15.12.14, Magdeburg

SiliconPV Award 2015 an Susanne Richter für »High-resolution structural investigation of passivated

interfaces of silicon solar cells«
25.03.15, Konstanz

Nachwuchspreis Green Photonics an Torsten Büchner für »Charakterisierung von mit Femtosekundenlasern erzeugten Mikrostrukturen im Glasvolumen für das Lichtmanagement in Solarmodulen«
22.06.15, München

Luther-Urkunde der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg an Volker Naumann für »Ursachenanalyse und physikalische Modellbildung für Potential-induzierte Degradation von Silizium-Solarzellen«
03.07.15, Halle (Saale)

Anerkennungspreis der Stadt Halle beim IQ-Innovationspreis Mitteldeutschland an Volker Naumann für »Entwicklung eines Prüfgeräts zur Qualitätskontrolle von Solarzellen und Solarmodulen PIDcon«
07.07.15, Halle (Saale)

Dissertationen

Jana Fiedler
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Verarbeitungsverhalten von Cellulose regeneratfaser verstärktem Polypropylen

Andrea Friedmann
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Mikromorphologische Untersuchungen an humanem Bandscheibengewebe mittels Rasterelektronenmikroskopie zur Bewertung der Bandscheidendegeneration

Ulrike Hirsch
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Antifouling-Funktionalisierung von Kompositmembranen zur Reversosmose durch Plasmaprozesse und radikalische Polymerisation

Marianne John
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Untersuchungen zu Eigenspannungen in CFK-Schaum-Sandwichstrukturen

Volker Naumann
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Ursachenanalyse und physikalische Modellbildung für Potentialinduzierte Degradation von Silizium-Solarzellen

Sandra Richter
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Korrelationen von Plasmametern und Materialeigenschaften zur Kontrolle des industriellen Atmosphärendruck-Plasmaprozesses

Susanne Richter
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Entstehung und Charakterisierung von nichtmetallischen Fremdphasen bei Siliziumkristallisationsprozessen für die Photovoltaik

Franziska Steudel
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Lumineszierende Gläser für Photovoltaik und Leuchtdioden

Katrin Unterhofer *
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Charakterisierung von makro- und mikroskaligen thermo-mechanischen Materialeigenschaften dünner Polymerfilme

Matthias Zscheyge
Technische Universität Dresden
Zum temperatur- und dehnraten-abhängigen Deformations- und Schädigungsverhalten von Textil-Thermoplast-Verbunden

(*) vom Fraunhofer IMWS betreute Arbeit, Autorin/Autor jedoch nicht am Fraunhofer IMWS

Studentische Arbeiten Bachelor (B), Master (M), Diplom (D)

Rodrigo Álvarez Monterroso
Hochschule Offenburg
Development and construction of specific test samples for the investigation of PV module defects (M)

Niklas Bönninghoff
Hochschule Anhalt
Untersuchung des elektrischen Verhaltens von Modulwechselrichtern nach bestehenden Normen mit Fokus auf den Wirkungsgrad bei Extremtemperaturen (B)

Carlo Brzuska
Hochschule Anhalt
Zerstörungsfreie Untersuchung am c-Si Modul zur statistischen Auswertung von Rissen mit Shunts (B)

Mohamed Khammoussi Flahi
Université de Carthage, National Institut of Applied Sciences and Technology (INSAT), Tunesien
Dielectric thermal analysis of encapsulation polymers for photovoltaic modules (M)

Daniel Friedrich
Hochschule Anhalt
Evaluierung eines mobilen Messstandes zur Aufnahme von Lichteinfallswinkel-abhängigen Strom-/Spannungskennlinien von Solarmodulen bei natürlichem Sonnenlicht (B)

Mathias Fromm
Hochschule Anhalt
Entwurf, Auslegung und Aufbau einer Elektrofahrrad-Garage mit kristallinen, gewölbten Leichtbau-Solarmodulen (B)

Felix Frühauf
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Messung und quantitative Auswertung von Elektrolumineszenzsignalen an Solarzellen und -modulen (M)

Patrick Funke
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, University of the West of

Scotland, Schottland Entwicklung von Lasteinleitungselementen für ein Leichtfahrzeug mit naturfaserverstärkter Sandwichstruktur (M)	Tony Porsch Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig Entwicklung eines bruchmechanischen Finite-Elemente-Modells zur Rissausbreitung im Silizium am Beispiel des Thermischen Laserstrahl-Separierens (TLS) (M)	Mareike Stenglein Universität Bayreuth Herstellung und Charakterisierung von Verkapselungsfolien auf Basis von kristallinen Silizium-Solarzellen (M)	Martin Fialik SKZ-KFE gGmbH 13.07.-31.12.15
Anne Geyer Technische Universität Dresden Untersuchung von Einflussgrößen beim Single Cantilever Beam Test (SCB) an Sandwichstrukturen mit Honigwabenkern (D)	Sara Jane Portmann Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin Oberflächenmodifizierung von Trägermatrices durch Nanostrukturierung für die Anwendung im Tissue Engineering (B)	Tommy Tänzer Hochschule Mittweida Charakterisierung von Kurzschlüssen an Rissen: Entwicklung einer korrelativen Messroutine in Solarzellen und Modulen (M)	Annegret Jentsch Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 01.01.-31.03.15
Tina Gläsel Technische Universität Bergakademie Freiberg Oberflächenmodifizierung und Analytik von Polymerfolien (D)	Nicky Rank Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Leipzig Experimentelle Charakterisierung des Delaminationsverhaltens von Laminaten aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten (B)	Luz Maria Tobar Subia Contento Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft Lasergestützte Oberflächenstrukturierung von medizinischen Katheteroberflächen (M)	Ahmad Khaled Katholieke Universiteit Leuven, Belgien 16.-27.11.15
Thomas Gläßer Hochschule Anhalt Entwicklung und konstruktive Umsetzung einer Apparatur zur statischen Vermessung druckluft-separierter Verstärkungsfasern (M)	Karl Riedrich Hochschule Merseburg Erweiterung einer Messeinrichtung zur magnetischen Stromflusskartierung in leistungselektronischen Bauelementen (B)	Holger Uhle Hochschule Mittweida Geometrische und mikrostrukturelle Bewertung von strukturierten Sägedrähten zur Herstellung von Siliziumwafern (M)	Sebastian Loos FH Südwestfalen, Soest 01.01.-31.12.15
Tino Jacob Technische Universität Dresden Experimentelle Untersuchungen zur Einbettung und Herausführung von Faser-Bragg-Gitter-Sensoren in Faserverbundstrukturen aus thermoplastischen unidirektionalen Tapes (D)	Heinrich Ruhland Fachhochschule Schmalkalden Entwicklung eines Spannrahmens für ETFE-Membran-Fassaden (M)	Florian Wallburg Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, University of the West of Scotland, Schottland Bewertung der Festigkeit von polykristallinem Silizium im Bereich der Korngrenzen (M)	Christopher Ludtka University of Tennessee, Knoxville, TN, USA 01.09.-31.12.15
Han Jiale Hochschule Anhalt Elektrochemisch-analytische und konduktometrische Charakterisierung von leitfähigen Kompositlacken (B)	Anne Schaeme Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Oberflächenmodifizierung durch funktionelle Nassbeschichtung von biokompatiblen und pharmazeutischen Wirkstoffen auf nanostrukturierten Transportträgern (M)	Christian Werner Hochschule Merseburg Ermüdungsverhalten von Leitklebern (M)	Javorina Milosevic SpinPlant GmbH, Leipzig 01.01.-31.12.15
Julia Koppernock Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Untersuchung von Virenfiltern aus nanoporösem Aluminiumoxid für die Anwendung in der Sterilfiltration (M)	Christian Schmidt Hochschule Anhalt Verschleißcharakterisierung an Diamantsägedrähten (B)	Sergei Wittchen Hochschule Merseburg Herstellung und Bewertung von Wood Plastic Composites aus biobasierten Polyamiden und Buchenholzfasern (M)	Alan Mohr Massachusetts Institute of Technology, MA, USA 01.06.-31.08.15
Gaurav Kulkarni Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Compatibilization of Wood Plastic Composites based on Polymamide 11 and Beech Wood Flour (M)	Markus Schmidt Hochschule Anhalt Erweiterung eines Messplatzes für Untersuchungen mit luftgekoppeltem Ultraschall (B)	Cecilia Aguiar da Silva Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 01.01.-31.12.15	Stefan Oelting ANTEC Solar GmbH, Arnstadt 01.01.-31.12.15
Ralf Lindau Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Kominierte Darstellung von Bild- und Messdaten (B)	René Schüler Hochschule Nordhausen Diagnostik an präparierten Halbleiterstrukturen mittels lock-in basierter Elektronenstrahl-induzierter Strommessung (M)	Shashi Bahl FH Köthen 01.01.-15.08.15	Dr. Vladimir Pankratov Universität Lettlands, Riga, Lettland 03.08.-17.09.15
Sriharish Malebennur Nagaraja Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Influence of filler network topology and immobilized rubber on reinforcement in natural rubber composites containing different nanoparticles (M)	Fangfang Shen Hochschule Anhalt Entwicklung, Anpassung und Erprobung eines neuen Antragswerks für funktionelle Nassbeschichtung (B)	Ahmed Benlarabi Institut IRESEN, Rabat, Marokko 17.08.-28.08.15	Dr. Uldis Rogulis Universität Lettlands, Riga, Lettland 23.11.-04.12.15
Andriani Pelekanou Ernst-Abbe-Hochschule Jena Methodenentwicklung zur Kontaktwinkelmessung von nanostrukturierten Polymeroberflächen (M)	Thomas Skala Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig In-situ-Röntgen-Computer-Tomographie an bruchmechanischen SCB-Sanwichproben (M)	Mikael Broas Aalto University, Espoo, Finnland 12.10.-31.12.15	Prof. Dr. Anatolijs Sarakovskis Universität Lettlands, Riga, Lettland 23.11.-26.11.15
		Alessa Brossmer Kunsthochschule Burg Giebichenstein 28.08.-30.11.15	Juliane Schuppich FH Südwestfalen, Soest 01.07.-31.12.15
		Meixi Chen University of Delaware, DE, USA 05.07.-07.09.15	Tamara Shahmary SpinPlant GmbH, Leipzig 01.01.-31.10.15
			Wonshoup So Yeungnam University, Gyeongsan, Korea 10.09.-09.10.15
			Florian Wagner FH Südwestfalen, Soest 01.01.-31.12.15
			Michael Zwarg SKZ-KFE gGmbH 13.07.-31.12.15

Vorlesungen WS 2014/2015

Bauhaus-Universität Weimar

Grundlagen nachhaltiges Bauen I
Norman Klüber

Fachhochschule Südwestfalen

Photovoltaic, Energy efficiency
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Physik III
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Wind Generation and Energy Management
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Hochschule Anhalt Köthen

Microsystems Technology
Prof. Dr. Andreas Heilmann

Sensor- und Aktorteknik
Prof. Dr. Andreas Heilmann

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig HTWK

Photovoltaik als Energiequelle
Prof. Dr. Jens Schneider

Einführung in die Methoden der Finiten Elemente
Prof. Dr. Stephan Schönfelder

Simulation und Projektierung in der Gebäudetechnik
Prof. Dr. Stephan Schönfelder

Hochschule Merseburg

Polymerphysik
Prof. Dr. Mario Beiner

MMIP Photovoltaik
Dr. Christian Hagendorf

Modul Photovoltaik
Dr. Christian Hagendorf, Dr. Matthias Ebert, Prof. Dr. Stephan Schönfelder, Dr. Sylke Meyer, Dr. Marko Turek, Prof. Dr. Jens Schneider

Kunststofftechnik/Verfahrenstechnik
Prof. Dr. Peter Michel

Einführung in die Mikrosystemtechnik
Prof. Dr. Matthias Petzold, Frank Altmann, Michel Simon-Najasek

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Halbleiter- und Dünnschichttechnologie, Siliziumchemie
Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

Vorlesungen SS 2015

Bauhaus-Universität Weimar

Grundlagen nachhaltiges Bauen II
Norman Klüber

Burg Giebichenstein Kunsthochschule, Halle

Werkstoffe und Konstruktion
Andreas Krombholz

Fachhochschule Südwestfalen

Fuel Cells and Energy Parks
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Physik II
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Regenerative Energiequellen
Prof. Dr. Stefan Schweizer

Hochschule Anhalt Köthen

Sensor- und Aktorteknik
Prof. Dr. Andreas Heilmann

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig HTWK

Photovoltaik als Energiequelle
Prof. Dr. Jens Schneider

Bauteilbewertung und -versagen
Prof. Dr. Stephan Schönfelder

Computational Mechanics
Prof. Dr. Stephan Schönfelder

Einführung in die Finiten Elemente
Prof. Dr. Stephan Schönfelder

Hochschule Merseburg

Werkstoffdiagnostik und Zuverlässigkeit von Mikrosystemen
Prof. Dr. Matthias Petzold, Dr. Sebastian Brand, Frank Altmann, Dr. Andreas Graff, Dr. Michael Krause, Georg Lorenz, Michel Simon-Najasek, Christian Ehrich

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Structure and Morphology
Prof. Dr. Mario Beiner

Surface Science
Prof. Dr. Andreas Heilmann

Processing of Polymerblends and Composites
Prof. Dr. Peter Michel

Technische Universität Ilmenau

Werkstoffkunde der Kunststoffe
Dr. Sven Henning

Vom Fraunhofer IMWS organisierte Fachveranstaltungen

PV Days 2014
21.-22.10.14, Halle (Saale)

SAM User Meeting
04.-05.12.14, Halle (Saale)

Fraunhofer-Allianz Bau – Mitgliederversammlung
25.03.15, Halle (Saale)

4th CAM-Workshop 2015 »Advanced Failure Diagnostics for Automotive Electronics«
14.-15.04.15, Halle (Saale)

1st European ELITE User Group Meeting
16.04.15, Halle (Saale)

8. Sitzung des DGM Fachausschusses »Zellulare Werkstoffe«
28.-29.05.15, Halle (Saale)

10. Dreiländer-FIB-Workshop »Focused Ion Beams in Forschung, Wissenschaft und Technologie«
29.-30.06.15, Halle (Saale)

DACH Mini-Workshops Cryo-Ultramicrotomy und Cryo-ESEM and Cryo-FIB
29.-30.06.15, Halle (Saale)

15 Jahre MAHREG
09.07.15, Magdeburg

PV Days 2015
27.-28.10.15, Halle (Saale)

Weitere öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

Herbstfest für kooperierende Fachhochschulen 2014
06.11.14, Halle (Saale)

»Jugend forscht« Regionalwettbewerb 2015
27.02.15, Halle (Saale)

Tag der Berufe
11.03.15, Halle (Saale)

Hafenhinterlandkonferenz
11.-13.03.15, Halle (Saale)

Girls' Day/Boys' Day – Zukunftstag für Mädchen und Jungen
23.04.15, Halle (Saale)

1. Alumni-Fest
03.07.15, Halle (Saale)

14. Lange Nacht der Wissenschaften Halle
03.07.15, Halle (Saale)

Festveranstaltung »10 Jahre Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum PAZ«
19.10.15, Schkopau

Herbstfest mit kooperierenden Hochschulen 2015
29.10.15, Halle (Saale)

Messen mit Beteiligung des Fraunhofer IMWS

9. Europäische Fachmesse & Forum für Verbundwerkstoffe, Technologie und Anwendungen, COMPOSITES EUROPE 2014
07.-09.10.14, Düsseldorf

40th International Symposium for Testing and Failure Analysis (ISTFA)
09.-13.11.14, Houston, TX, USA

SMT Hybrid Packaging 2015
05.-07.05.15, Nürnberg

PCIM Europe 2015
10.-12.05.15, Nürnberg

65. Electronic Components and Technology Conference, ECTC 2015
26.-29.05.15, San Diego, CA, USA

Intersolar Europe 2015
08.-12.06.15, München

Composite Europe 2015
22.-24.09.15, Stuttgart

26th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis, ESREF 2015
05.-09.10.15, Toulouse, Frankreich

Erteilte Patente 2015

Busch, M.; Wüstenhagen, S.
Batteriemodul für Li-Ionen Zellen mit integrierter Temperaturführung
Patent-Nr. DE 10 2010 046 933

Spohn, U.; Schwan, S.
Thermoelektrisch gesteuerter biomechanischer Reaktor
Patent-Nr. DE 10 2009 004 336

Schäfer, R.; Sander, M.; Dietrich, S.; Ebert, M.
Belastungseinrichtung zur Erzeugung von Flächenlasten (Druck und Sog) auf plattenförmige Bauteile mittels elektromagnetischen Linearmotoren
Patent-Nr. DE 10 2009 053 299

VERÖFFENTLICHUNGEN IN REFERIERTEN ZEITSCHRIFTEN UND REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN AM FRAUNHOFER IMWS

- Allenstein, U.; Selle, S.; Tadsen, M.; Patzig, C.; Höche, T.; Zink, M.; Mayr, S.G.
Coupling of metals and biominerals: Characterizing the interface between ferromagnetic shape-memory alloys and hydroxyapatite
ACS Applied Material Interfaces 7/28 (2015) 15331-15338
- Babur, T.; Balko, J.; Budde, H.; Beiner, M.
Confined relaxation dynamics in long range ordered polyester with comb-like architecture
Polymer 55/26 (2014) 6844-6852
- Bagdahn J.; Naumann, V.; Lausch, D.; Hagendorf, C.
Prüfgerät erkennt den PID-Effekt bereits auf Zellenebene
Elektronikpraxis 2015 (2015) 10
- Berndt, S.; Gawronski, A.; Patzig, C.; Wisniewski, W.; Höche, T.; Rüssel, C.
Oriented crystallization of a β -quartz solid solution from a MgO/Al₂O₃/SiO₂ glass in contact with tetragonal ZrO₂ ceramics
RSC Advance 2015/5 (2015) 15164-15171
- Böhm, R.; Stiller, J.; Behnisch, T.; Zscheyge, M.; Protz, R.; Radloff, M.; Gude, M.; Hufenbach, W.
A quantitative comparison of the capabilities of in situ computed tomography and conventional computed tomography for damage analysis of composites
Composites Science and Technology 110 (2015) 62-68
- Brand, S.; Tismer, S.; Moe, S.T.; Schjolberg-Henriksen, K.
Non-destructive wafer-level bond defect identification by scanning acoustic microscopy
Microsystem Technologies 21/7 (2015) 1385-1394
- Chen, S.; Mahmood, N.; Beiner, M.; Binder, W.H.
Self-healing materials from V- and H-shaped supramolecular architectures
Angewandte Chemie International 2015/54 (2015) 10188-10192
- de Pablos-Martín, A.; Ebert, M.; Patzig, C.; Krause, M.; Dyrba, M.; Miclea, P.-T.; Lorenz, M.; Grundmann, M.; Höche, T.
Laser welding of sapphire wafers using a thin-film fresnoite glass solder
Microsystem Technologies 21/5 (2015) 1035-1045
- de Pablos-Martín, A.; Ferrari, M.; Pascual, M.J.; Righini, G.C.
Glass-ceramics: A class of nanostructured materials for photonics
La Rivista del Nuovo Cimento 38/7-8 (2015) 311-369
- de Pablos-Martín, A.; Méndez-Ramos, J.; del-Castillo, J.; Durán, A.; Rodríguez, V.D.; Pascual, M.J.
Crystallization and up-conversion luminescence properties of Er³⁺/Yb³⁺-doped NaYF₄-based nano-glass-ceramics
Journal of the European Ceramic Society 35/6 (2015) 1831-1840
- de Pablos-Martín, A.; Pascual, M.J.; Durán, A.
Transparent nano-glass-ceramic for photonic applications. Distribution of RE-doping elements in the fluoride nano-crystals analysed by XAS and HR-TEM
Advances in Science and Technology 90 (2014) 111-120
- de Pablos-Martín, A.; Tismer, S.; Höche, T.
Structural characterization of laser bonded sapphire wafers using a titanium absorber thin film
Journal of Materials Science & Technology 31 (2015) 484-488
- de Pablos Martín, A.; Tismer, S.; Naumann, F.; Krause, M.; Lorenz, M.; Grundmann, M.; Höche, T.
Evaluation of the bond quality of laser joined sapphire wafers using a fresnoite glass sealant
Microsystem Technologies 11.02.2015 (2015)
- Fuechsel, K.; Kroll, M.; Otto, M.; Steglich, M.; Bingel, A.; Kaesebier, T.; Wehrspohn, R.B.; Kley, E.-B.; Pertsch, T.; Tünnermann, A.
Black silicon photovoltaics
Photon Management in Solar Cells (2015) 117-151
- Gaudig, M.; Hirsch, J.; Schneider, T.; Sprafke, A.N.; Ziegler, J.; Bernhard, N.; Wehrspohn, R.B.
Properties of black silicon obtained at room-temperature by different plasma modes
Journal of Vacuum Science & Technology A 33/5 (2015) 05E132
- Gawronski, A.; Patzig, C.; Höche, T.; Rüssel, C.
Effect of Y₂O₃ and CeO₂ on the crystallisation behaviour and mechanical properties of glass-ceramics in the system MgO/Al₂O₃/SiO₂/ZrO₂
Journal of Materials Science 50/4 (2015) 1986-1995
- Großer, S.; Werner, M.; Hagendorf, C.
Microstructure of void formation stages at local rear contacts
Energy Procedia 2015/77 (2015) 701-706
- Johnson, J.A.; Leonard, R.L.; Lubinsky, A.R.; Schweizer, S.
Opportunities for fluorochlorozirconate and other glass-ceramic detectors in medical imaging devices
Journal of Biomedical Technology and Research 1 (2015) 102
- Jung, J.Y.; Park, M.J.; Li, X.; Kim, J.H.; Wehrspohn, R.B.; Lee, J.-H.
High performance H-2 evolution realized in 20 μ m-thin silicon nanostructured photocathodes
Journal of Materials Chemistry 3/18 (2015) 9456-9460
- Lausch, D.; Hagendorf, C.
Influence of different types of recombination active defects on the integral electrical properties of multicrystalline silicon solar cells
Journal of Solar Energy 2015 (2015) 9
- Lee, G.; Schweizer, S.L.; Wehrspohn, R.B.
Electrochemical characteristics of plasma-etched black silicon as anodes for Li-ion batteries
Journal of Vacuum Science & Technology A 32/6 (2014)
- Lee, G.; Schweizer, S.L.; Wehrspohn, R.B.
CMOS-compatible metal-stabilized nanostructured Si as anodes for lithium-ion microbatteries
Nanoscale Research Letters 9/613 (2014)
- Lee, G.; Schweizer, S.L.; Wehrspohn, R.B.
Microstructural characterization of Li insertion in individual silicon nanowires
Applied Physics A 117/3 (2014) 973-979
- Li, X.; Xiao, Y.; Zhou, K.; Wang, J.; Schweizer, S.L.; Sprafke, A.; Lee, J.-H.; Wehrspohn, R.B.
Photoelectrochemical hydrogen evolution of tapered silicon nanowires
Physical Chemistry Chemical Physics 17/2 (2014) 800-804
- Li, X.; Yan, C.; Wang, J.; Graff, A.; Schweizer, S.L.; Sprafke, A.; Schmidt, O.G.; Wehrspohn, R.B.
Stable silicon anodes for Lithium-Ion batteries using mesoporous metallurgical silicon
Advanced Energy Materials 5/4 (2015) 1401556
- Loos, S.; Steudel, F.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Optical properties of down-shifting barium borate glass for CdTe solar cells
Advanced Optical Materials 41 (2015) 143-145
- Martin, H.; Gutteck, N.; Matthies, J.-B.; Hanke, T.; Gradl, G.; Wohlrab, D.; Mittlmeier, T.; Grabow, N.
Possible reasons for early artificial bone failure in biomechanical tests of ankle arthrodesis systems
Current Directions in Biomedical Engineering. Heft 1, Band 1 (2015) 507-509, ISSN Online 2364-5504
- Meitzner, R.; Schulze, S.
Method for determination of parameters for moisture simulations in photovoltaic modules and laminated glass
Solar Energy Materials and Solar Cells 2016/144 (2016) 23-28
- Naumann, V.; Lausch, D.; Hagendorf, C.
Sodium decoration of PID-s crystal defects after corona induced degradation of bare silicon solar cells
Energy Procedia 2015/ 77 (2015) 397-401
- Naumann, V.; Lausch, D.; Hähnel, A.; Breitenstein, O.; Hagendorf, C.
Nanosopic studies of 2D-extended defects in silicon that cause shunting of Si-solar cells
Physica Status Solidi C 12/8 (2015) 1103-1107

VERÖFFENTLICHUNGEN IN REFERIERTEN ZEITSCHRIFTEN UND REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN AM FRAUNHOFER IMWS

- Otto, M.; Algasinger, M.; Branz, H.; Gesemann, B.; Gimpel, T.; Fücksel, K.; Kasebier, T.; Kontermann, S.; Koynov, S.; Li, X.; Naumann, V.; Oh, J.; Sprafke, A.; Ziegler, J.; Zilk, M.; Wehrspohn, R.B.
Black silicon photovoltaics
Advanced Optical Materials 3/2 (2015) 147-164
- Purahong, W.; Schlöter, M.; Pecyna, M.; Kapturska, D.; Däumlich, V.; Mital, S.; Buscot, F.; Hofrichter, M.; Gutknecht, J.; Krüger, D.
Uncoupling of microbial community structure and function in decomposing litter across beech forest ecosystems in Central Europe
Nature Materials 2014/7014 (2014) 959-964
- Richter, S.; Kaufmann, K.; Naumann, V.; Werner, M.; Graff, A.; Großer, S.; Moldovan, A.; Zimmer, M.; Rentsch, J.; Bagdahn, J.; Hagendorf, C.
High-resolution structural investigation of passivated interfaces of silicon solar cells
Solar Energy Materials and Solar Cells 2015/142 (2015) 128-133
- Schlegel, R.; Hanke, T.; Krombholz, A.
A camera-based strain measurement technique for elastomer tensile testing: Simulation and practical application to understand the strain dependent accuracy characteristics
ELSEVIER, Polymer Testing 44 (2015) 186-196
- Schulze, S.; Apel, A.; Daßler, D.; Ehrich, C.
Cure state assessment of EVA-copolymers for PV-applications comparing dynamic-mechanical, dielectric and calorimetric properties
Solar Energy Materials and Solar Cells 143 (2015) 411-417
- Schumann, M.F.; Wiesendanger, S.; Goldschmidt, J.C.; Bläsi, B.; Bittkau, K.; Paetzold, U.W.; Sprafke, A.; Wehrspohn, R.B.; Rockstuhl, C.; Wegener, M.
Cloaked contact grids on solar cells by coordinate transformations: designs and prototypes
Optica 2/10 (2015) 850-853
- Seifert, G.; Schwedler, I.; Schneider, J.; Wehrspohn, R.B.
Light management in solar modules
Photon Management in Solar Cells 12 Chapter (2015) 323-346
- Simon-Najasek, M.; Huebner, S.; Altmann, F.; Graff, A.
Advanced FIB sample preparation techniques for high resolution TEM investigations of HEMT structures
Microelectronics Reliability 9-10 (2014) 1785-1789
- Skrzypczak U.; Seifert, G.; Schweizer, S.
Highly efficient and broadband upconversion of NIR sunlight with neodymium-doped glass Cceramics
Advanced Optical Materials 3/4 (2015) 541-545
- Song, J. W.; Nam, Y.H.; Park, M.J.; Shin, S.M.; Wehrspohn, R.B.; Lee, J.-H.
Hydroxyl functionalization improves the surface passivation of nanostructured silicon solar cells degraded by epitaxial regrowth
RSC Advances 5/49 (2015) 39177-39181
- Sprafke, A.N.; Wehrspohn, R.B.
Current concepts for optical path enhancement in solar cells
Photon Management in Solar Cells (2015) 1-20
- Stedel, F.; Loos, S.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Luminescent borate glass for efficiency enhancement of CdTe solar cells
Journal of Luminescence 164 (2015) 76-80
- Stedel, F.; Loos, S.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Multi-functionality of luminescent glasses for energy applications
Physica Scripta 90/9 (2015) 94004
- Ullbrich, C.; Peters, M.; Fahr, S.; Uepping, J.; Kirchartz, T.; Rockstuhl, C.; Goldschmidt, J.C.; Gerber, A.; Lederer, F.; Wehrspohn, R.B.; Blaesi, B.; Rau, U.
Light trapping in solar cells by directionally selective filters
Photon Management in Solar Cells 7 Chapter (2015) 183-207
- Wehrspohn, R.B.; Schweizer, S.
Optical materials for spectral management
Advanced Optical Materials 3/4 (2015) 422
- Werner, P.; Blumtritt, H.; Zlotnikov, I.; Graff, A.; Dauphin, Y.; Fratzl, P.
Electron microscope analyses of the bio-silica basal spicule from the Monorhaphis chuni sponge
Journal of Structural Biology 191/2 (2015) 165-174
- Yao, Y.; Patzig, C.; Hu, Y.; Scott, R.W.J.
In situ X-ray absorption spectroscopic study of Fe@FexOy/Pd and Fe@FexOy/Cu nanoparticle catalysts prepared by galvanic exchange reactions
Journal of Physical Chemistry C 119/36 (2015) 21209-21218
- Ziegler, J.; Haschke, J.; Kasebier, T.; Korte, L.; Sprafke, A.N.; Wehrspohn, R.B.
Influence of black silicon surfaces on the performance of back-contacted back silicon heterojunction solar cells
Optics Express 22/21 (2014) A1469-A1476
- Ziegler, J.; Mews, M.; Kaufmann, K.; Schneider, T.; Sprafke, A.N.; Korte, L.; Wehrspohn, R.B.
Plasma-enhanced atomic-layer-deposited MoO (x) emitters for silicon heterojunction solar cells
Applied Physics A 120/3 (2015) 811-816
- Zierdt, P.; Theumer, T.; Weber, A.
Holz-Polymer-Verbundwerkstoffe aus biobasiertem Polyamid 11 und Buchenholzfasern
Holztechnologie (der IHD, Dresden) 56/3 (2015) 10-15

ZEITSCHRIFTEN

de Pablos Martín, A.; Tismer, S.; Naumann, F.; Krause, M.; Lorenz, M.; Grundmann, M.; Höche, T.

Evaluation of the bond quality of laser joined sapphire wafers using a fresnoite glass sealant
Microsystem Technologies 11.02.2015 (2015) 1-8

Lee, G.; Schweizer, S.L.; Wehrspohn, R.B.

Electrochemical characteristics of plasma-etched black silicon as anodes for Li-ion batteries
Journal of Vacuum Science & Technology A 32/6 (2014) 061202

Lee, G.; Schweizer, S.L.; Wehrspohn, R.B.

CMOS-compatible metal-stabilized nanostructured Si as anodes for lithium-ion microbatteries
Nanoscale Research Letters 9/613 (2014)

Li, X.; Lee, J.-H.; Sprafke, A.N.; Wehrspohn, R.B.

Black metallurgical silicon for solar energy conversion
Semiconductor Science and Technology 31 (2015)

Stedel, F.; Ahrens, B.; Nolte, P.W.; Schweizer, S.

Forschung für ein leuchtendes Morgen. Entwicklung von Leuchtstoffen und Leuchtstoffsystemen für Weißlicht-LEDs
Elektronik Journal März 2015 (2015) 32-35

BÜCHER, BUCHBEITRÄGE

Altmann, F.; Brand, S.; Höche, T.; Krause, M.; Petzold, M.

Innovative material diagnostics methods for through silicon via technologies
Microelectronic Packaging in the 21st Century Honorary volume on the occasion of Klaus-Dieter Lang's 60th birthday; Fraunhofer IZM (Aschenbrenner, R.; Schneider-Ramelow, M. (Eds.); Fraunhofer Verlag, Stuttgart (2014) 266-271

Goldschmidt, J.C.; Prönneke, L.; Büchtemann, A.; Gutmann, J.; Steidl, L.; Dyrba, M.; Wiegand, M.-C.; Ahrens, B.; Wedel, A.; Schweizer, S.; Bläsi, B.; Zentel, R.; Rau, U.

Fluorescent concentrators for photovoltaic applications
Photon Management in Solar Cells; Wehrspohn, R.B.; Rau, U.; Gombert, A. (Eds.); Wiley-VCH, Weinheim (2015) 283-321

Goldschmidt, J. C.; Fischer, S.; Steinkemper, H.; Herter, B.; Wolf, S.; Hallermann, F.; von Plessen, G.; Johnson, J. A.; Ahrens, B.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.

Up-conversion materials for enhanced efficiency of solar cells
Photon Management in Solar Cells; Wehrspohn, R.B.; Rau, U.; Gombert, A. (Eds.); Wiley-VCH, Weinheim (2015) 231-254

Niepel, M.; Kirchof, K.; Menzel, M.; Heilmann, A.; Groth, T.

Controlling cell adhesion using pH-modified polyelectrolyte multilayer films
Layer-by-Layer Films for Biomedical Applications; Picart, C.; Caruso, F.; Voegel, J.-C. (Eds.); Wiley-VCH, Weinheim (2015) 3-29

Schweizer, S.; Paßlick, C.; Stedel, F.; Ahrens, B.; Miclea, P.-B.; Johnson, J.A.; Baumgartner, K.; Carius, R.

Down-conversion in rare-earth doped glasses and glass ceramics
Photon Management in Solar Cells; Wehrspohn, R.B.; Rau, U.; Gombert, A. (Eds.); Wiley-VCH, Weinheim (2015) 255-282

Wehrspohn, R.B.; Rau, U.; Gombert, A.

Photon management in solar cells
Wiley-VCH, Weinheim (2015)

VERÖFFENTLICHTE KONFERENZBEITRÄGE

Beiner, M.

Neue Einsichten als Relaxationsuntersuchungen an Kautschukkompositen und neuartige Ansätze für energieeffiziente Reifenlaufflächen
in Tagungsband Deutsche Kautschuk-Tagung DKT 2015; Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e.V. (Hrsg.); Deutsche Kautschukgesellschaft e.V., Frankfurt/M. (2015) Lecture Program V_61_Beiner

Berthold, L.; Krause, M.; Ebert, M.; Höche, T.

New methods of specimen preparation of pigment particles for investigations in transmission electron microscopy
in Proc. of European Technical Coatings Congress ETCC 2014 (2014) 176-177

Berthold, L.; Krause, M.; Höche, T.

Novel specimen-preparation routes for individual micro-sized particles for investigation by transmission electron microscopy
in Proc. of Microscopy Conference MC 2015 (2015) 403-404

Brand, S.; Appenroth, T.; Naumann, F.; Steller, W.; Wolf, M.J.; Czurratis, P.; Altmann, F.; Petzold, M.

Acoustic GHz-microscopy and its potential applications in 3D-integration technologies
in Proc. of 65th Electronic Components and Technology Conference (ECTC) 2015 IEEE; IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ, USA (2015) 46-53

Dammann, M.; Baeumler, M.; Brückner, P.; Bronner, W.; Maroldt, S.; Konstanzer, H.; Wespel, M.; Quay, R.; Mikulla, M.; Graff, A.; Lorenzini, M.; Fagerlind, M.; van der Wel, P.J. and Roedec, T.

Degradation of 0.25 µm GaN HEMTs under high temperature stress test
in Proc. of the 26th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis; Perdu, P.; Marc, F.; Bafleur, M.; Fremont, H.; Nolhier, N. (Eds.); Elsevier Ltd., Oxford (2015) 1667-1671

Gaudig, M.; Hirsch, J.; Ziegler, J.; Schneider, T.; Werner, M.; Sprafke, A.; Bernhard, N.; Wehrspohn, R.B.

Investigation of the optoelectronic properties of crystalline silicon textured by maskless plasma etching at different ignition modes
in Proc. of 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition PVSEC 2014 (EU PVSEC Proceedings); Bokhoven, T.P.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs-KG, München (2014) 885-888

Hirsch, J.; Lausch, D.; Bernhardt, N.

Front- and rearside plasma texturing of crystalline silicon wafers for PV application
in Proc. of the 14th International Conference on Plasma Surface Engineering; EFDS - Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V., München (2014)

Jatzkowski, J.; Simon-Najasek, M.; Altmann, F.

Localization of weak points in thin dielectric layers by Electron Beam Absorbed Current (EBAC) imaging
in Proc. of 40th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2014; ASM International, Electronic Device Failure Analysis Society, Materials Park, OH, USA (2014) 500-504

John, M.; Geyer, A.; Schlimper, R.; Schäuble, R.

Comparing unreinforced and pin-reinforced CFRP/PMI Foam Core Sandwich Structures regarding their Damage Tolerance Behaviour
in Proc. of 20th International Conference on Composite Materials ICCM20; Scientific Committee of ICCM (Eds.); Scandinavian Scientific Committee of ICCM20, Stockholm (2015) 8

Klüber, N.; Hollberg, A.; Ruth, J.

Life cycle optimized application of renewable raw materials for retrofitting measures
in Proc. of World Sustainable Building 2014 Barcelona Conference, Volume 3; Cuchi, A.; Arcas-Abella, J.; Casals-Tres, M.; Fombella, G. (Eds.); Global Vision Area, Barcelona/Spain (2014) 635-641

- Klute, C.; Kaule, F.; Schoenfelder, S.
Breakage root cause analysis in as-cut monocrystalline silicon wafers
 in Proc. of 29th European Photovoltaic Energy Conference and Exhibition PVSEC 2014; Bokhoven, T.P.; Helm, P.; Jäger-Waldau, A. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co. Planungs KG, München (2014) 753-756
- Krause, M.; Ebert, M.; Höche, T.
microPREP™ – A new laser tool for high-throughput sample preparation
 in Proc. of 40th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2014; ASM International, Electronic Device Failure Analysis Society, Materials Park, OH, USA (2014) 261-267
- Krombholz, A.; Eversmann, N.; Werner, P.
Lignin based sandwich system for load bearing insulation
 in Proc. of World Sustainable Building 2014 Barcelona Conference, Documentation; Cuchi, A.; Arcas-Abella, J.; Casals-Tres, M.; Fombella, G. (Eds.); Global Vision Area, Barcelona/Spain (2014) documentation; pdf_session; Session 48-no; 8-14
- Krombholz, A.; Werner, P.; Weber, A.
Sandwich elements from renewable resources as a structural component in the architecture
 in Proc. of 20th Symposium on Composites Part 2; Edtmaier, C.; Reguena, G. (Eds.); TTP Trans Tech Publications Ltd, Pfaffikon/Schweiz (2015) 1071-1079
- Lausch, D.; Gläser, M.; Hagendorf, C.
Determination of crystal grain orientations by optical microscopy at textured surfaces and applications
 in Proc. of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition PVSEC 2014; Bokhoven, T. P.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs-KG, München (2014) 567-572
- Möhl, C.; Krombholz, A.
Impact resistance bio compound
 in Proc. of 20. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde 2015 (20th Symposium on Composites); Edtmaier, C.; Reguena, G. (Eds.); TTP Trans Tech Publications, Pfaffikon/Switzerland (2015) 1047-1054
- Mujtaba, A.; Beiner, M.; Keller, M.; Ilich, S.; Radusch, H.-J.; Thurn-Albrecht, T.; Saalwächter, K.
Zum Verständnis der Viskoelastizität von Füllstoff Netzwerken in SBR-Silika Nanokompositen
 in Tagungsband Deutsche Kautschuk-Tagung DKT 2015; Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e.V. Frankfurt (Hrsg.); Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e.V., Frankfurt/M. (2015) University Session V_04_Mujtaba
- Naumann, F.; Altmann, F.; Grosse, C.; Herold, R.
Efficient non-destructive 3D defect localization by lock-in thermography utilizing multi harmonics analysis
 in Proc. of 40th International Symposium for Testing and Failure Analysis ISTFA 2014; ASM International (Ed.); Electronic Device Failure Analysis Society, Materials Park, OH, USA (2014) 130-135
- Pander, M.; Schulze S.-H.; Ebert, M.
Mechanical modeling of electrically conductive adhesives for photovoltaic applications
 in Proc. of 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Bokhoven, T.P.; Helm, P.; Jäger-Waldau, A. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München (2014) 3399-3405
- Romstedt, D.; Richter, S.
Haftungsoptimierung von klebstoffbeschichteten Kunststoff-Schutzfolien
 in Tagungsband 12. Freiburger Polymertag 2015 – Anwendungsspezifische Beschichtungen auf flexiblen Substraten; Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen (FILK) gGmbH (Ed.); Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen (FILK) gGmbH, Freiberg (2015) 90-95
- Schlimper, R.; Vecchio, I.; Schladitz, K.; Schäuble, R.
RVE Modelling of deformation and failure behaviour of closed cell rigid polymer foams
 in Proc. of 20th International Conference on Composite Materials ICCM20; Scientific Committee of ICCM (Ed.); Scandinavian Scientific Committee of ICCM20, Stockholm (2015) 11, 2110-3
- Schneider, J.; Schoenfelder, S.; Dietrich, S.; Turek, M.
Solar module with half size solar cells
 in Proc. of 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition PVSEC 2014; Bokhoven, T.P.; Jäger-Waldau, A.; Helm, P. (Eds.); WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, München, München (2014) 185-189
- Schoenfelder, S.; Kaule, F.; Wallburg, F.
Mechanical strength of multicrystalline silicon wafers considering microstructural defects
 in Proc. of Freiberg Silicon Days/Freiberg Sawing Symposium 2015 (2015)
- Schumann, M.F.; Wiesendanger, S.; Goldschmidt, J.-C.; Bittkau, K.; Paetzold, U.W.; Sprafke, A.; Wehrspohn, R.B.; Rockstuhl, C.; Wegener, M.
Cloaking of metal contacts on solar cells
 in Proc. of conference on lasers and electro-optics (CLEO) 2015; IEEE, Piscataway, USA (2015) 10-15
- Stuedel, F.; Loos, S.; Ahrens, B.; Schweizer, S.
Luminescent glasses and glass ceramics for white LEDs
 in 5th International LED professional Symposium + Expo, LED Lighting Technologies, Trends & Technologies for Future Lighting, Bregenz, Österreich (2015), 146-153
- Wagner, F.; Nolte, P.W.; Stuedel, F.; Schweizer, S.
Thermographic investigation of luminescent barium borate glasses for white-LED applications
 in Proc. of SPIE 9485; Hsieh, S.-J. (T.); Zalameda, J. N.; SPIE/Conference Proceedings, Bellingham, USA (2015) 948516
- Wallburg, F.; Kaule, F.; Schönlfelder, S.
Influence of grain boundaries on crack propagation in multicrystalline silicon wafers
 in Proc. of 8th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells CSSC-8; Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology (IISB) (Eds.); (2015) 95
- Zeller, U.; Pander, M.; Dietrich, S.; Ebert, M.
Strömungssimulation an PV-Fassaden
 in Tagungsband 7. Forum Bauwerkintegrierte Photovoltaik; Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Regensburg (2015) 111-118
- Zierdt, P.; Weber, A.
Processing and characterization of wood plastic composites from biobased polyamide 11 and chemically modified beech fibers
 in Proc. of 20. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde 2015 (20th Symposium on Composites); Edtmaier, C.; Reguena, G. (Eds.); TTP Trans Tech Publications, Pfaffikon/Switzerland (2015) 1039-104

JAHRESBERICHT 2015

Impressum

Zweite Auflage, März 2016

Redaktion

Clemens Homann

Michael Kraft

Gestaltung und Produktion

Marianne Förderer

Cornelia Dietze

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut
für Mikrostruktur von
Werkstoffen und Systemen IMWS
Öffentlichkeitsarbeit
Walter-Hülse-Straße 1
06120 Halle (Saale)
Telefon +49 345 5589-154
Fax +49 761 5142-510

info@imws.fraunhofer.de

www.imws.fraunhofer.de

Alle Rechte vorbehalten.

Bei Abdruck ist die Einwilligung
der Redaktion erforderlich.

Titelbild

Mittels 3D-Lock-in-Theromgephie lassen sich Fehler
in hochintegrierten Bauteilen der Mikroelektronik
aufspüren.

Bildquellen

S. 21, Abb. 1 oben: © Hochschule Merseburg

S. 35 © IRESEN/Green Energy Park

Alle übrigen Abbildungen: © Fraunhofer IMWS



Das Fraunhofer IMWS arbeitet nach
einem Qualitätsmanagementsystem,
das nach ISO 9001 zertifiziert ist.
Zertifikatsnummer DE07/3361

